



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍ MECHANIKY

INSTITUTE OF STRUCTURAL MECHANICS

STATICKÁ ANALÝZA STŘEŠNÍ KONSTRUKCE

STATIC ANALYSIS OF THE ROOF STRUCTURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Andrea Dolníčková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ZBYNĚK VLK, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

| | |
|-------------------------|---|
| Studijní program | B3607 Stavební inženýrství |
| Typ studijního programu | Bakalářský studijní program s prezenční formou studia |
| Studijní obor | 3608R001 Pozemní stavby |
| Pracoviště | Ústav stavební mechaniky |

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

| | |
|-----------------|-------------------------------------|
| Student | Andrea Dolníčková |
| Název | Statická analýza střešní konstrukce |
| Vedoucí práce | Ing. Zbyněk Vlk, Ph.D. |
| Datum zadání | 30. 11. 2016 |
| Datum odevzdání | 26. 5. 2017 |

V Brně dne 30. 11. 2016

prof. Ing. Drahomír Novák, DrSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka,
CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Norma : ČSN EN 1991-1 - Eurokód 1

Bittnar Z., Šejnoha J. - Numerické metody mechaniky 1,2

Kadlčák J., Kytýr J. : Statika stavebních konstrukcí I a II

Manuály k systému RFEM

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je statická analýza střešní dřevěné konstrukce. Bude proveden prostorový výpočtový model vybrané konstrukce, použité zatížení bude odpovídat platným normám. Modelování konstrukce, statická analýza i předběžný posudek vybraných prvků konstrukce bude proveden v programovém systému RFEM. Získané výsledky budou kontrolovány zjednodušeným ručním výpočtem.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Zbyněk Vlček, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Práce se zabývá statickou analýzou krovu s ocelovou vaznicí. Jedná se o sedlovou střechu tvaru L nad rodinným domem. Výpočtový model konstrukce je vytvořen v programu RFEM 5.07, který provádí výpočet pomocí metody konečných prvků. Na model konstrukce je použito celkem 14 zatěžovacích stavů. Proměnné zatížení bylo stanoveno podle normy ČSN EN 1991-1.

Jednotlivé nosné prvky krovu jsou posouzeny jak na mezní stav únosnosti, tak na mezní stav použitelnosti. Posudky jsou provedeny ručním výpočtem a ověřeny posouzením konstrukce v přídatných modulech RF-TIMBER Pro a RF-STEEL EC3. V poslední části práce jsou definovány některé konkrétní spoje prvků.

KLÍČOVÁ SLOVA

Střecha, krov, dřevěná konstrukce, spoje, ocelová vaznice, krokev, kleština, sloupek

ABSTRACT

The thesis is focused on a static analysis of a roof truss with a steel purlin. It is a pitched roof of an L shaped groundplan. Computational model of the structure is carried out in the RFEM 5.07 software tool, which performs calculations using the Finite Element Method. There are 14 load cases applied on the model of the structure. The variable loads were determined according to ČSN EN 1991-1.

The individual load-bearing elements are assessed for an ultimate as well as for a serviceability limit state. The assessments are processed by a hand calculation and verified by an assessment of the structure performed in the additional software modules RF-TIMBER Pro and RF-STEEL EC3. In the last part of the thesis there are some specific joints of the elements defined.

KEYWORDS

Roof, roof truss, timber structure, joints, steel purlin, rafter, tie, post

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Andrea Dolníčková *Statická analýza střešní konstrukce*. Brno, 2017. 102 s., 31 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební
mechaniky. Vedoucí práce Ing. Zbyněk Vlček, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 18. 5. 2017

Andrea Dolníčková
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce Ing. Zbyňku Vlkovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, cenné rady, trpělivost a ochotu. Dále pak mé rodině, za podporu během celého studia.

Obsah

| | | |
|-------|---|-----|
| 1. | ÚVOD | 10 |
| 2. | KONSTRUKCE KROVU | 11 |
| 2.1 | Popis konstrukce | 11 |
| 2.1.1 | Model | 13 |
| 2.1.2 | Použité profily | 13 |
| 2.1.3 | Statické schéma jednotlivých částí | 14 |
| 2.2 | Zatížení | 15 |
| 2.2.1 | Střešní plášť | 15 |
| 2.2.2 | Užitné zatížení | 19 |
| 2.2.3 | Sníh | 20 |
| 2.2.4 | Vítr | 23 |
| 2.2.5 | Kombinace | 33 |
| 3. | MEZNÍ STAV ÚNOSTNOSTI | 35 |
| 3.1 | Materiálové charakteristiky | 35 |
| 3.2 | Průřezové charakteristiky | 37 |
| 3.3 | Postup posouzení při ručním výpočtu | 38 |
| 3.4 | Posouzení dřevěných prvků | 40 |
| 3.5 | Posouzení ocelového prvku | 66 |
| 4. | MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI | 68 |
| 4.1 | Posouzení dřevěných prvků | 69 |
| 4.2 | Posouzení ocelového prvku | 80 |
| 5. | ŘEŠENÍ KONSTRUKCE V MÍSTECH SPOJŮ | 82 |
| 5.1 | Posouzení krokve v osedlání | 82 |
| 5.2 | Způsob napojení ocelové vaznice a dřevěných prvků | 90 |
| 5.3 | Ověření nutnosti použití ocelové vaznice | 91 |
| 6. | ZÁVĚR | 92 |
| 7. | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 94 |
| 8. | SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ | 95 |
| 9. | SEZNAM OBRÁZKŮ | 98 |
| 10. | SEZNAM TABULEK | 101 |

| | |
|------------------------|-----|
| 11. SEZNAM PŘÍLOH..... | 102 |
| 12. PŘÍLOHY..... | 103 |

1. ÚVOD

Účelem této bakalářské práce je zpracovat statickou analýzu dřevěné střešní konstrukce rodinného domu. Výpočtový model pro zjištění vnitřních sil bude zpracován v programu RFEM 5.07.

Posuzovaný krov má tu zvláštnost, že kromě dřevěných prvků je zde použit i prvek ocelový a to konkrétně ocelová vaznice. Ta byla navržena z důvodu velkého rozpětí sloupků.

Nejdříve bude v rámci práce řešena konstrukce jako taková. V první řadě bude uveden popis konstrukčního uspořádání střechy a okolních podmínek majících vliv na zatížení konstrukce. Výpočet zatížení bude proveden v souladu s normou ČSN 1991-1 a to pro samotnou sedlovou střechu a pro část konstrukce s menším sklonem zastřešující vchod na pochozí plochou střechu domu. Jednotlivé zatěžovací stavy budou dále rozvedeny.

Posouzení na mezní stav únosnosti a spolehlivosti bude vyhotoveno jak pro obě hlavní části střešní konstrukce (krov mám tvar L), tak i pro zastřešení s menším sklonem. Výpočty budou provedeny ručně a výsledky kontrolovány posouzením konstrukčních prvků v přídatných modulech RF-TIMBER Pro a RF-STEEL EC3. Dřevo je na rozdíl od oceli materiálem nehomogenním, a jeho pevnosti se liší podle směru působení zatížení vůči směru vláken. U mezního stavu použitelnosti u dřevěných prvků bude zvaženo jak průhyb okamžitý, tak i dotvarování konstrukce v čase, způsobeného vlhkostí a dlouhodobým působením zatížení.

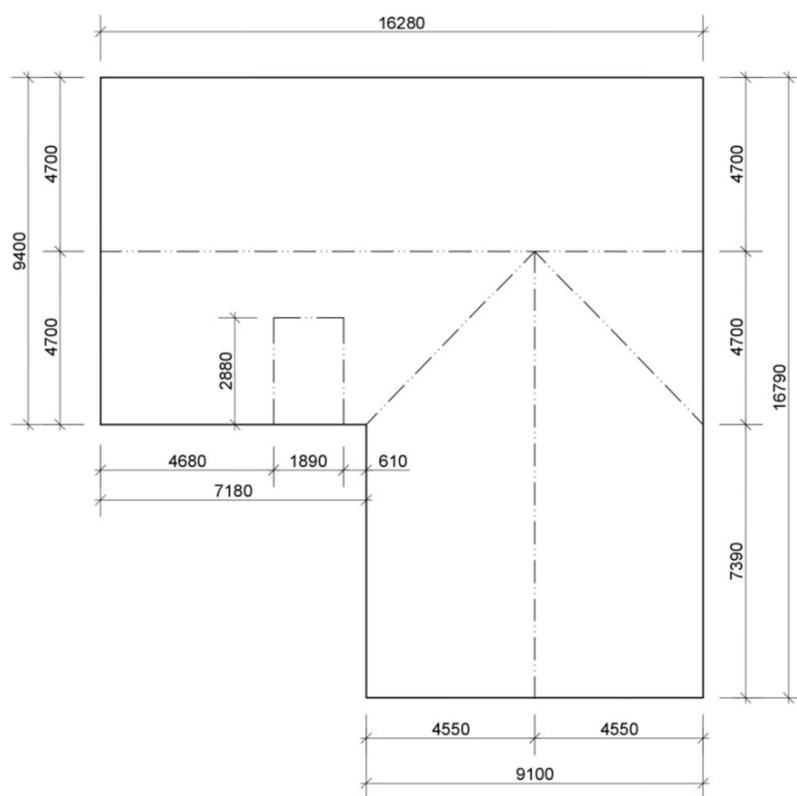
Poslední část práce bude věnována konkrétním problematickým spojům, jako jsou způsoby napojení dřevěných prvků na ocelovou vaznici nebo posouzení krokví v místě jejich oslabení osedláním na pozednici.

2. KONSTRUKCE KROVU

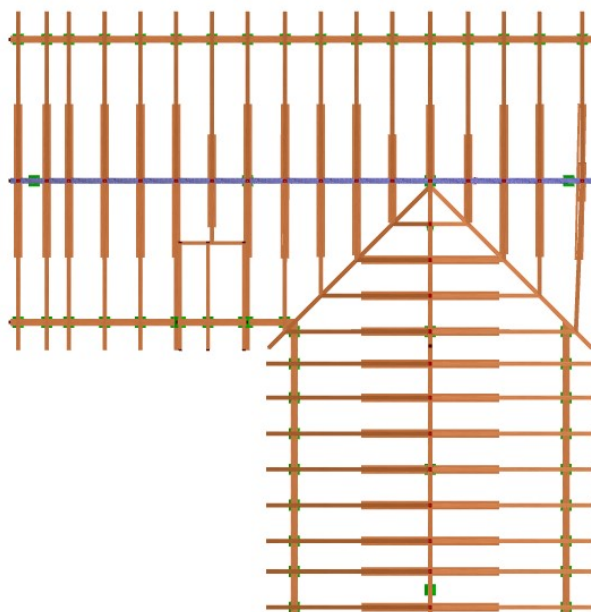
2.1 Popis konstrukce

Konstrukce byla navržena pro účely bakalářské práce. Pro určení okolních podmínek, které mají vliv na zatížení konstrukce, byl objekt umístěn do Olomouckého kraje, konkrétně do města Prostějov. Nachází se tak ve II. sněhové a II. větrové oblasti.

Dům má obdélníkový půdorys, jehož tři čtvrtiny zakrývá mnou posuzovaný krov a zbylou čtvrtinu pochozí plochá střecha užívaná jako terasa. Dům je navržen jako zděný z tvárnic Porotherm s obvodovými stěnami o tloušťce 450mm. Stropní konstrukce jsou tvořeny cihelnými vložkami MIAKO a keramobetonovými stropními nosníky.

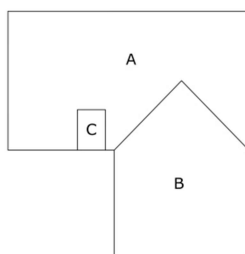


Obr. 2.1 Půdorysné schéma konstrukce



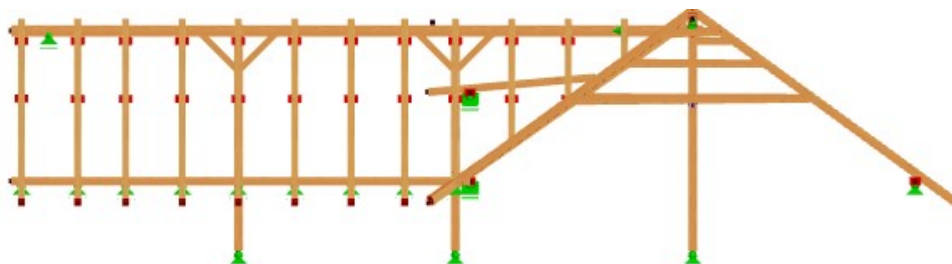
Obr. 2.2 Půdorysný průmět modelu

Střecha, kterou budu v této práci posuzovat je sedlová, tvořená ze dvou hlavních částí, napojených na sebe ve tvaru písmene L, a dále malou stříškou vystupující z jedné z hlavních částí a zakrývající otvor dveří. Pro snadnější orientaci konstrukci rozdělím na části A, B a C viz obr. 2.3.



Obr. 2.3 Schéma rozdělení objektu do částí

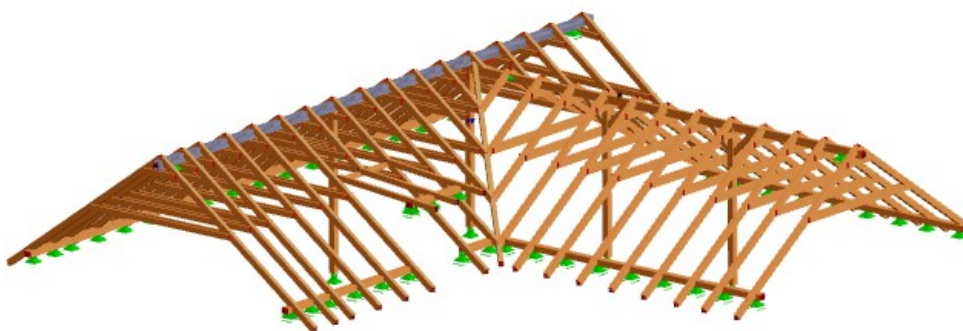
Část A má krokve ve sklonu 35° a její celková délka je 16,28m. Tato část konstrukce je zvláštní v tom, že je nesena ocelovou vaznicí. Ta je z obou stran podpírána vyzděnou štítovou stěnou a dvěma sloupky rozmístěnými po délce. Ocelová vaznice v místě druhého sloupku leží na vaznici dřevěné, kterou je nesena část B (kolmá na A). Tato vaznice je kromě společného sloupku podepřena také štítovou stěnou a dalšími dvěma sloupky, tak jako v předchozím případě. Sklon krokví části B je taktéž totožný se sklonem v části A. Průřez krokví je u obou těchto částí 120/160.



Obr. 2.4 Boční pohled na konstrukci

Poslední posuzovaná část krovu (část C) je tvořena pouze třemi krokve a je pomocí výměny připojena k části A střešní konstrukce. Hlavní rozdíl je zde ve sklonu krokví, který je 5° a je tak náchylnější k účinkům sněhu a větru. Krokve zde mají také oproti oběma dalším částem menší průřez (100/140). Pozednice jsou v rámci celého krovu uloženy na železobetonovém věnci a kotveny do něj pomocí závitových tyčí.

2.1.1 Model



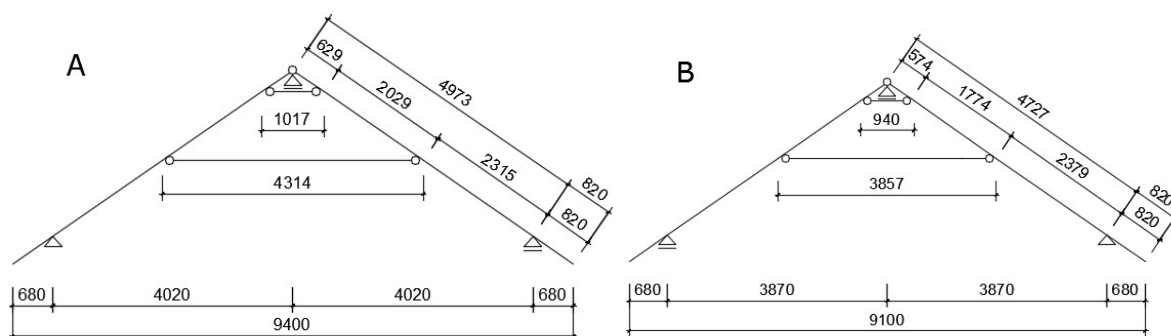
Obr. 2.5 Model konstrukce

2.1.2 Použité profily

- Ocel:
 - Vaznice 2xU220
- Dřevo:
 - Pozednice 200/150
 - Vaznice 120/200
 - Sloupek 160/160
 - Krokve 120/160
 - Krokve 100/140
 - Kleštiny 140/120/60
 - Výměna 100/120
 - Pásky 100/120

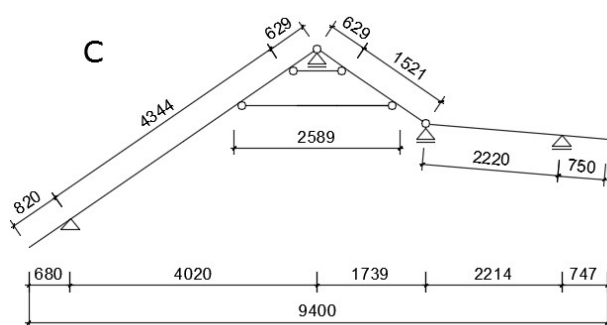
2.1.3 Statické schéma jednotlivých částí

Všechna schémata jsou složena z podpor představujících ve spodní části pozednice a v části horní vrcholovou vaznici. Pouze jedna z pozednic je vždy modelována jako podpora neposuvná (ostatní podpory posuvné). Krokve jsou ve vrcholu spojeny pomocí kloubu. Kloubové napojení je taktéž použito u obou kleštín. Pro naznačení uložení krokve na pozednice, byly v modelu použity vazby vetknutí - kloub, kterými byly krokve od těchto prvků odsazeny ale zároveň tak nedojde ke skoku v momentu v místě podpory na krokvi, způsobeném od této vazby.



Obr. 2.6 Statické schéma částí A a B

Napojení části C na část je A je vymodelováno pomocí výměny, kterou ve statickém schématu představuje posuvná podpora. Pozednice je zde provedena na železobetonovém věnci nad dveřním otvorem. Pro zabránění nadměrným průhybům jsou v této části uvažovány vyvýšené kleštiny.



Obr. 2.7 Statické schéma části C

2.2 Zatížení

Většina krokví má osovou vzdálenost 1m. V několika případech se osová vzdálenost krokví liší např. kvůli posunu u štítové zdi nebo v místě uvažovaného komínu. Jelikož by ale nikde nebyla zatěžovací šířka krokví větší o víc než 10 %, použiju pro výpočet zatížení zjednodušení a budu u všech krokví v částech konstrukce A a B uvažovat zatěžovací šířku 1,0 m. Pouze u části C, která se skládá ze tří krokví s osovými vzdálenostmi 0,78 m a 1,0 m, bude zatížení přepočítáno podle skutečné zatěžovací šířky, protože 2/3 těchto krokví budou přenášet pouze poloviční zatížení a dané zjednodušení by zde bylo spíš v neprospěch.

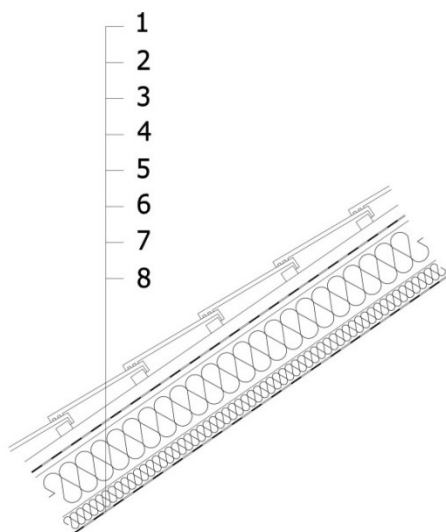
Na konstrukci budou působit následující zatížení:

- Vlastní tíha konstrukce – bude na základě modelu vypočtena programem RFEM 5.07
- Ostatní stálé zatížení – zatížení od nenosných prvků střešní konstrukce (střešní krytina, izolace, podhledy...)
- Užité zatížení – obecně se jedná o zatížení vzniklé provozem v daném objektu. V tomto případě však k žádnému provozu nedochází a užité zatížení vzniká jen např. od člověka, který by na střeše prováděl montážní, opravné či revizní práce.
- Sníh – spadá pod zatížení klimatická a jeho intenzita se může lišit podle oblasti, ve které se konstrukce nachází
- Vítr – také klimatické zatížení, které však může na konstrukci způsobovat jak zatížení tlakem tak sáním a tím konstrukci odlehčovat

2.2.1 Střešní plášť

Jako ostatní stálé zatížení budu uvažovat celý střešní plášť včetně podhledů. Vynechána bude pouze hodnota zatížení vlastní tíhou nosné konstrukce, kterou si RFEM spočítá ze zadaných rozměrů sám. Skladba střechy je stejná pro obě hlavní části krovu. Liší se pouze část C, ve které je místo keramické krytiny použita krytina falcovaná, která je podstatně lehčí.

Skladba střechy na částech A a B:



Obr. 2.8 Schéma skladby střešního pláště pro sklon 35°

1. Skládaná střešní krytina TONDACH, sklon 35°
2. Střešní latě 40/60, smrkové dřevo, osová vzdálenost 380 mm
3. Kontralatě 50/40, smrkové dřevo
4. Pojistná hydroizolace, difúzně propustná folie
5. Bednění z dřevovláknitých desek
6. Tepelná izolace mezi krokvy, pásy ze skleněných vláken
7. Tepelná izolace pod krokvy, desky na bázi PIR
8. Parozábrana

Skladba podhledu:

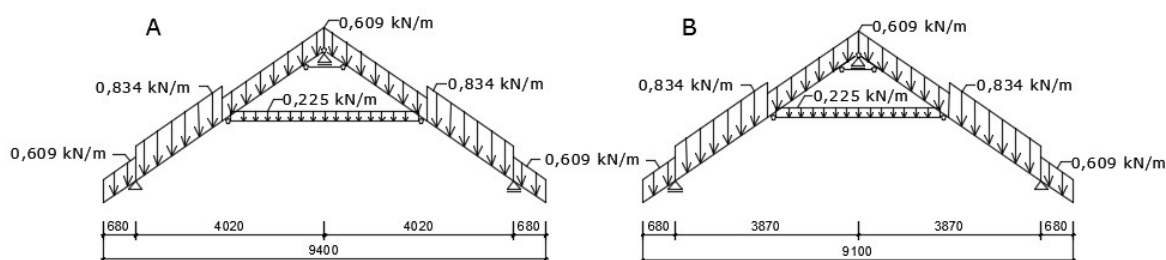
1. Latě pro připevnění konstrukce podhledu 40/60
2. Nosná konstrukce, rošt z R- CD profilů
3. 2x Sádrokartonová deska

- Výpočet zatížení:

| Vrstva | Tíha vrstvy | Tloušťka [m] | kN/m |
|-----------------------|------------------------|--------------|-------------------|
| Střešní krytina | 0,45 kN/m ² | | 0,4500 |
| Latě | 4,2 kN/m ³ | 0,04 | 0,0265 |
| Kontralatě | 4,2 kN/m ³ | 0,05 | 0,0084 |
| Pojistná hydroizolace | 220 g/m ² | 0,0008 | 0,0022 |
| Bednění | 2,7 kN/m ³ | 0,024 | 0,0648 |
| Izolace mezi krokvy | 0,21 kN/m ³ | 0,16 | 0,0296 |
| Izolace pod krokvy | 0,32 kN/m ³ | 0,08 | 0,0256 |
| Parozábrana | 170 g/m ² | 0,0003 | <u>0,0017</u> |
| | Celkem | | 0,609 kN/m |
| Latě | 4,2 kN/m ³ | 0,04 | 0,0101 |
| R-CD profil | 0,52 kg/m | | 0,0052 |
| 2x SDK deska | 10,5 kg/m ² | 2x0,0125 | <u>0,2100</u> |
| | Celkem | | 0,225 kN/m |

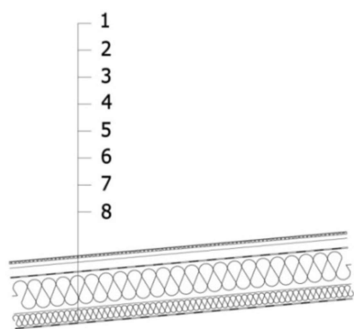
Celkové stálé zatížení na krokve včetně podhledu: $0,609+0,225=0,834$ kN/m

V celém výpočtu je uvažováno se zatěžovací šířkou 1m, pouze u tepelné izolace umístěné mezi krokvy jsem zatížení vynásobila zatěžovací šířkou 0,88 m tzn. 1 m – šířka krokve (120 mm).



Obr. 2.9 Zatížení od střešního pláště na částech A a B

Skladba střechy na části C:



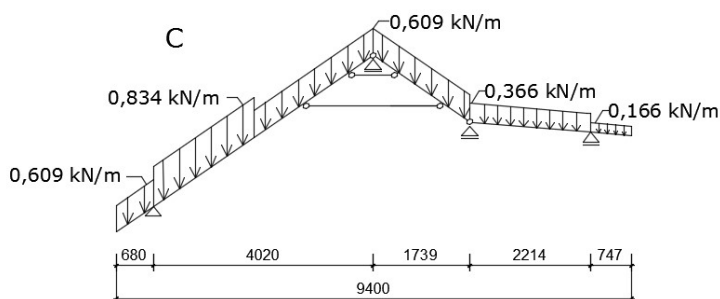
Obr. 2.10 Schéma skladby střešního pláště pro sklon 5°

1. Falcovaná krytina
2. Separační vrstva, strukturovaná rohož
3. Bednění z dřevovláknitých desek
4. Kontralatě 50/40, smrkové dřevo
5. Pojistná hydroizolace, difúzně propustná folie
6. Tepelná izolace, pásy ze skleněných vláken
7. Tepelná izolace, desky na bázi PIR
8. Parozábrana

- Výpočet zatížení:

| Vrstva | Tíha vrstvy | Tloušťka [m] | kN/m ² |
|-----------------------|------------------------|---------------|-------------------------------|
| Falcová krytina | 5,34 kg/m ² | 0,0006 | 0,0534 |
| Separační vrstva | 0,21 kg/m ² | 0,008 | 0,0021 |
| Bednění | 2,7 kN/m ³ | 0,024 | 0,0648 |
| Kontralatě | 4,2 kN/m ³ | 0,05 | 0,0084 |
| Pojistná hydroizolace | 220 g/m ² | 0,0008 | 0,0022 |
| Izolace mezi krokvemi | 0,21 kN/m ³ | 0,14 | 0,0262 |
| Izolace pod krokvemi | 0,32 kN/m ³ | 0,08 | 0,0256 |
| Parozábrana | 170 g/m ² | 0,0003 | <u>0,0017</u> |
| | | Celkem | 0,184 kN/m² |
| Latě | 4,2 kN/m ³ | 0,04 | 0,0101 |
| R-CD profil | 0,52 kg/m | | 0,0052 |
| 2x SDK deska | 10,5 kg/m ² | 2x0,0125 | <u>0,2100</u> |
| | | Celkem | 0,225 kN/m² |

V této části konstrukce se vyskytují pouze tři krokve, mezi nimiž je osová vzdálenost 0,78 m a 1 m. Zatížení bude proto rozpočítáno na jednotlivé krokve podle zatěžovací šířky každé z nich. Výpočet rozdělení zatížení na jednotlivé krokve pro každý zatěžovací stav viz Příloha č. 1.



Obr. 2.11 Zatížení od střešního pláště na části C (prostřední krokve)

2.2.2 Užité zatížení

Podle tabulky 6.9 normy ČSN EN 1991-1-1 se posuzovaný krov řadí do kategorie H – střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav. Pro tento typ střechy jsou normou navrhované dvě možnosti užitého zatížení. Jedna z možností je zatížení plošné o hodnotě $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$. Druhá uvedená možnost je zatížení člověkem, tedy osamělou silou o velikosti $Q_k = 1 \text{ kN}$ ¹.

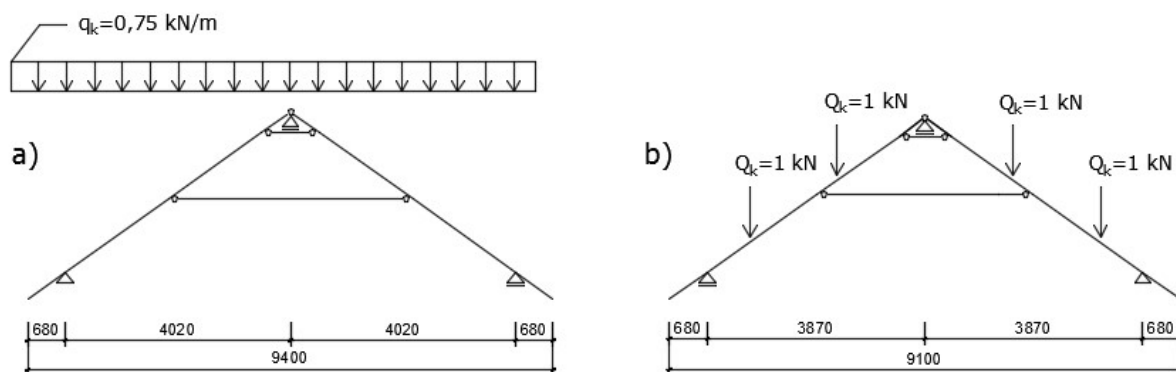
Norma dále uvádí, že pro střechy se musí provést samostatné ověření na účinky soustředěného zatížení Q_k a zatížení rovnoměrně rozděleného q_k , která působí nezávisle². Porovnála jsem proto účinky obou zatížení na konstrukci, abych následně mohla konstrukci zatížit horším z nich.

Porovnávané zatížení jsou následující:

- Krokve jsou zatíženy plošným zatížením o velikosti $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$, které je vztaženo s půdorysné ploše.
- Krokve jsou zatíženy dvěma osovými silami o velikosti $Q_k = 1 \text{ kN}$, umístěnými přesně do třetin rozpětí, charakterizující dva dělníky, provádějící práce na střeše.

¹ [2] Tabulka 6.10(CZ)

² [2] 6.3.4.2(3)



Obr. 2.12 a) Užitné zatížení spojitě b) Užitné zatížení osamělými silami

Tab. 2.1 Srovnání účinků dvou typů užitného zatížení na konstrukci

| Zatížení | Největší průhyb krokve | Největší průhyb kleštiny | Největší moment na krokvě |
|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$ | 2,4 mm | 1,9 mm | 0,844 kN/m |
| $2 \times Q_k = 1 \text{ kN}$ | 2,3 mm | 1,7 mm | 0,833 kN/m |

Z výsledků vyplývá, že extrémní hodnoty vnitřních sil a průhybů jsou v obou případech zatížení velmi podobné. O trochu horší účinky na konstrukci má však zatížení plošné, které je proto pro mne rozhodující.

2.2.3 Sníh

Zatížení sněhem spadá do kategorie proměnných klimatických zatížení a jako takové závisí na lokalitě, ve které se nachází. V tomto konkrétním případě se jedná o sněhovou oblast. Posuzovaný objekt se podle mapy sněhových oblastí nachází ve sněhové oblasti II s normálním typem krajiny. Tyto informace společně se sklonem střechy jsou dostačující ke stanovení zatížení konstrukce sněhem.

U tohoto typu zatížení je nutné počítat se dvěma druhy uspořádání. Jedním druhem je zatížení nenavátým sněhem na střeše neboli sníh plný, kdy bude celá konstrukce zatížena rovnoměrně. Druhým uspořádáním rozumíme zatížení navátým sněhem, kdy vítr určitou část sněhu přenesl z jedné části konstrukce na druhou a způsobí tak nahromadění sněhu a konstrukce je tak zatížena nerovnoměrně.

Další účinek od sněhu, který se na daném typu střech vyskytuje, je síla vznikající na části střechy vyložené za obvodovou stěnu. Tato část je pak zatížena jak spojitým zatížením od sněhu tak i silou, která působí na okraji střechy. Tento účinek se však uvažuje pouze u sněhových oblastí V-VIII a zde je proto zanedbán.

Výpočet zatížení pro části A a B:

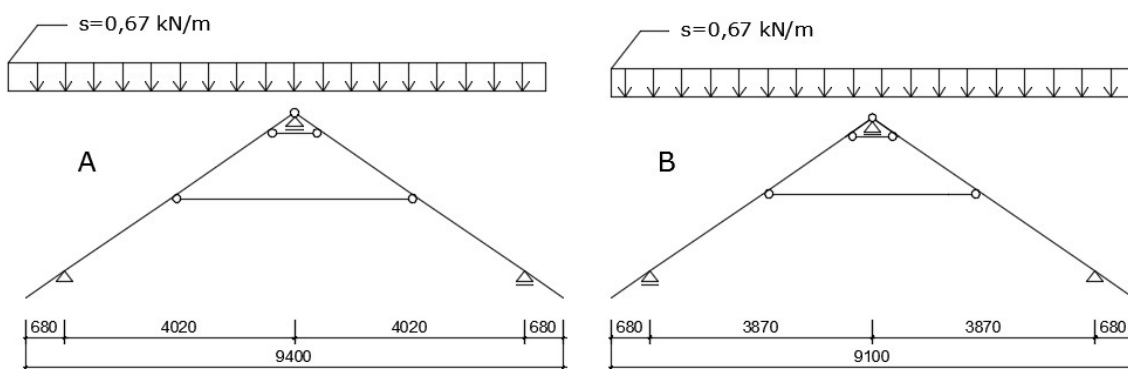
- Vstupní hodnoty:

| Název | Označení | Hodnota |
|--|----------|-----------------------|
| Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi | s_k | 1,0 kN/m ² |
| Součinitel expozice | C_e | 1,0 |
| Tepelný součinitel | C_t | 1,0 |
| Sklon střechy | α | 35° |

- Vypočtené hodnoty:

$$\text{Tvarový součinitel zatížení sněhem } \mu_l = \frac{(60 -)}{30} 0,8 = \frac{(60 - 35)}{30} 0,8 = 0,67$$

$$\text{Zatížení sněhem } s = \mu_l \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,67 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = \mathbf{0,67 \text{ kN/m}^2}$$



Obr. 2.13 zatížení plných sněhem na částech A a B

Výpočet zatížení pro část C:

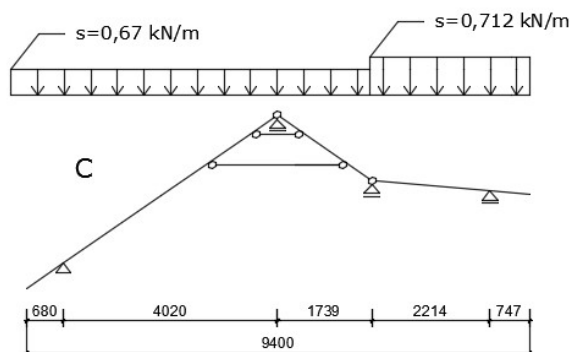
- Vstupní hodnoty:

| Název | Označení | Hodnota |
|--|----------|-----------------------|
| Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi | s_k | 1,0 kN/m ² |
| Součinitel expozice | C_e | 1,0 |
| Tepelný součinitel | C_t | 1,0 |
| Sklon střechy | α | 5° |
| Tvarový součinitel zatížení sněhem | μ_l | 0,8 |

- Vypočtené hodnoty:

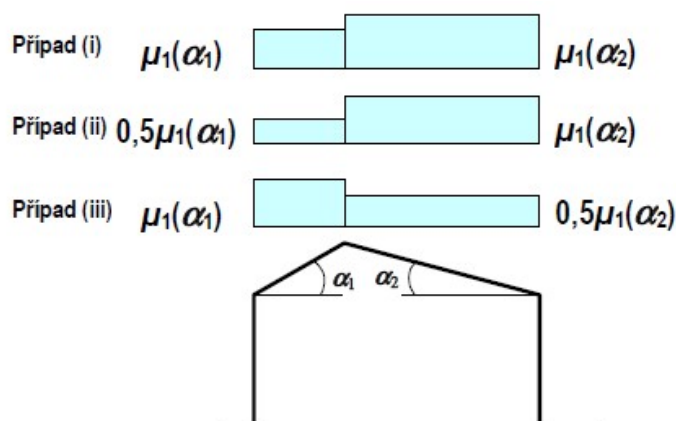
Zatížení sněhem $s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$

Zatížení bude v této části střechy opět rozpočítáno na jednotlivé krokve.



Obr. 2.14 zatížení plným sněhem na části C (prostřední krokve)

Druhé uspořádání zatížení od sněhu, tedy zatížení navátým sněhem se stanoví podle pravidel na obr. 2.15³, kde první případ znázorňuje působení sněhu plného a další dva případy působení navátého sněhu na jedné či druhé straně konstrukce.



Obr. 2.15 Tvarové součinitele zatížení sněhem

V částech A a B bude proto u navátého sněhu konstrukce zatížena hodnotou 0,67 kN/m na jedné straně a poloviční hodnotou 0,34 kN/m na straně druhé. V části C se jedná o obdobný případ, kdy v jednom zatěžovacím stavu budou krokve zatíženy hodnotou plného zatížení a ve druhém hodnotou poloviční viz. výpočet v Příloze č. 1.

³ [3] Obrázek 5.3 Tvarové součinitele zatížení sněhem – sedlové střechy

2.2.4 Vítr

Vítr je dalším proměnným zatížením působícím na šikmé střechy, které musí být ve výpočtu zohledněno. Jedná se o zatížení, které působí kolmo na konstrukci v podobě tlaku a sání. Směr větru se průběžně mění, je tedy nutno uvažovat vítr z více stran. Zatížení budu proto počítat pro 4 různé směry působení větru. Tyto zatížení budou na konstrukci rozdělena nerovnoměrně v závislosti na rozměrech konstrukce a dále také na poloze podélné osy jednotlivých částí ke směru větru. Uvažujeme dvě různé možnosti a to působení větru rovnoběžně s osou konstrukce a směr větru, který je na osu kolmý.

Zatížení větrem bude rozděleno do osmi zatěžovacích stavů. Pro každý směr větru budou možné dva zatěžovací stavy, a to takové, že v jednom bude celá konstrukce namáhána pouze sáním a ve druhé kombinací sání a tlaku. Stejně tak jako u sněhu, i zde potřebujeme pro výpočet znát podmínky oblasti, ve které se konstrukce vyskytuje. V tomto případě se jedná o II větrnou oblast a kategorii terénu III.

Výpočet zatížení od větru:

- Vstupní hodnoty:

| Název | Označení | Hodnota |
|--|--------------|------------------------|
| Výchozí základní rychlost větru | $v_{b,0}$ | 25 m/s |
| Součinitel směru větru | c_{dir} | 1,0 |
| Součinitel ročního období | c_{season} | 1,0 |
| Parametr drsnosti terénu | z_0 | 0,3 m |
| Minimální výška | z_{min} | 5 m |
| Parametr drsnosti terénu (kategorie terénu II) | $z_{0,II}$ | 0,05 m |
| Výška budovy | z | 7,72 m |
| Součinitel ortografie | $c_0(z)$ | 1,0 |
| Měrná hmotnost vzduchu | ρ | 1,25 kg/m ³ |
| Součinitel turbulence | k_1 | 1,0 |

- Vypočtené hodnoty:

Základní rychlost větru

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

Součinitel terénu

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$$

Součinitel drsnosti terénu

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{7,72}{0,3}\right) = 0,689$$

Charakteristická střední rychlost větru

$$v_m(z) = c_{r(z)} \cdot c_{0(z)} \cdot v_b = 0,698 \cdot 1,0 \cdot 25 = 17,46 \text{ m/s}$$

Intenzita turbulence

$$l_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{7,72}{0,3}\right)} = 0,308$$

Maximální dynamický tlak

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,308] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 17,46^2 =$$

0,603 kN/m²

Výpočet rozměrů pro zatížení větrem na části A:

- Pro $\theta=0^\circ$

$$e = \min\{b; 2h\} = \{16,28; 2 \cdot 7,72\} = \{16,28; 15,44\} = 15,44 \text{ m}$$

$$e/4 = 15,44/4 = 3,86 \text{ m}$$

$$e/10 = 15,44/10 = 1,544 \text{ m}$$
- Pro $\theta=90^\circ$

$$e = \min\{b; 2h\} = \{9,4; 2 \cdot 7,72\} = \{9,4; 15,44\} = 9,4 \text{ m}$$

$$e/2 = 9,4/2 = 4,7 \text{ m}$$

$$e/4 = 9,4/4 = 2,35 \text{ m}$$

$$e/10 = 9,4/10 = 0,94 \text{ m}$$

Výpočet rozměrů pro zatížení větrem na části B:

- Pro $\theta=0^\circ$

$$e = \min\{b; 2h\} = \{16,79; 2 \cdot 7,72\} = \{16,79; 15,44\} = 15,44 \text{ m}$$

$$e/4 = 15,44/4 = 3,86 \text{ m}$$

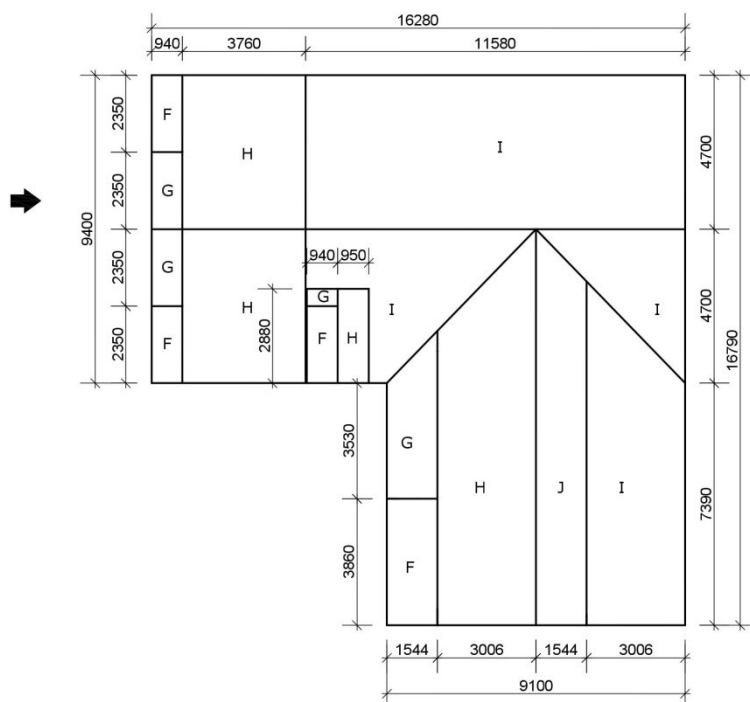
$$e/10 = 15,44/10 = 1,544 \text{ m}$$
- Pro $\theta=90^\circ$

$$e = \min\{b; 2h\} = \{9,1; 2 \cdot 7,72\} = \{9,1; 15,44\} = 9,1 \text{ m}$$

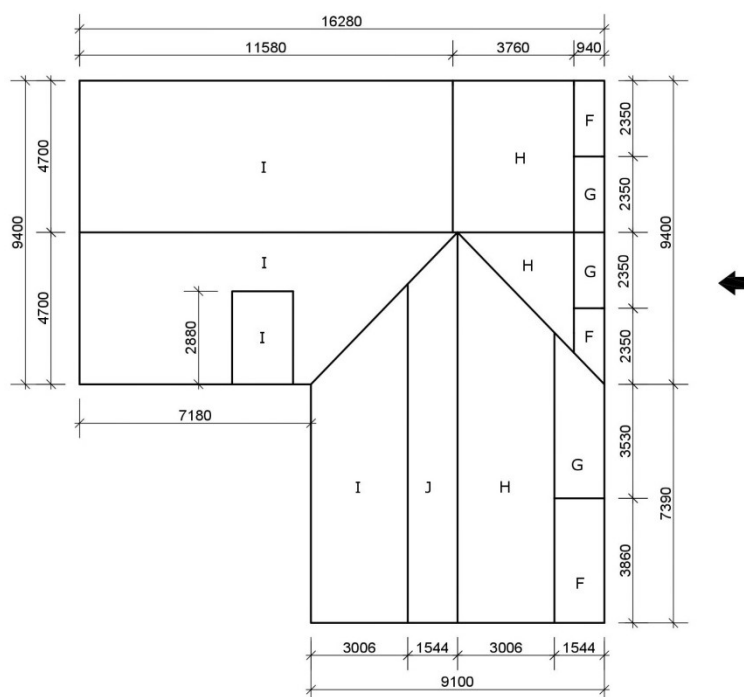
$$e/2 = 9,1/2 = 4,55 \text{ m}$$

$$e/4 = 9,1/4 = 2,275 \text{ m}$$

$$e/10 = 9,1/10 = 0,91 \text{ m}$$



Obr. 2.17 Vitr příčný zprava



Obr. 2.18 Vitr podélný zleva

V této části práce jsem si pro zatěžování krokví zavedla další zjednodušení. Krokve, na které podle výše uvedených oblastí působí z každé strany jiné zatížení, byly vždy zatíženy větším z nich.

Výpočet tlaku větru jednotlivých oblastí:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

Součinitel vnějšího tlaku c_{pe} je v normě uveden pouze pro některé sklony střech a je proto třeba interpolovat. Interpolované hodnoty uvedu ve formě tabulek. Hodnoty součinitele se liší pro vítr v poloze $\theta = 0^\circ$ a $\theta = 90^\circ$.

- Tlak větru a části A a B pro $\theta = 0^\circ$:

Tab. 2.2⁴ Součinitel vnějšího tlaku pro $\theta = 0^\circ$

| Úhel sklonu α | F | G | H | I | J |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $c_{pe,10}$ | | | | | |
| 30° | -0,5 | -0,5 | -0,2 | -0,4 | -0,5 |
| | 0,7 | 0,7 | 0,4 | 0,0 | 0,0 |
| 35° | -0,333 | -0,333 | -0,133 | -0,333 | -0,433 |
| | 0,7 | 0,7 | 0,467 | 0,0 | 0,0 |
| 45° | 0,0 | 0,0 | 0,0 | -0,2 | -0,3 |
| | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,0 | 0,0 |

Záporné hodnoty v tabulce značí sání a kladné hodnoty tlak.

$$w_{eF} = 0,603 \cdot (-0,333) = \mathbf{-0,201 \text{ kN/m}^2} \text{ (sání)}; w_{eF} = 0,603 \cdot 0,7 = \mathbf{0,422 \text{ kN/m}^2} \text{ (tlak)}$$

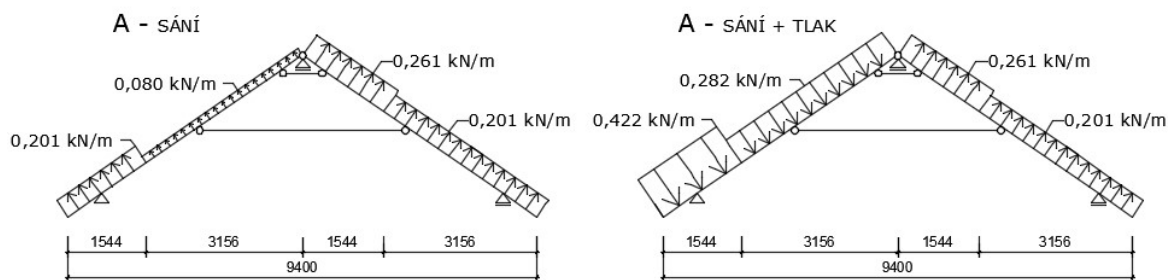
$$w_{eG} = 0,603 \cdot (-0,333) = \mathbf{-0,201 \text{ kN/m}^2} \text{ (sání)}; w_{eG} = 0,603 \cdot 0,7 = \mathbf{0,422 \text{ kN/m}^2} \text{ (tlak)}$$

$$w_{eH} = 0,603 \cdot (-0,133) = \mathbf{-0,080 \text{ kN/m}^2} \text{ (sání)}; w_{eH} = 0,603 \cdot 0,467 = \mathbf{0,282 \text{ kN/m}^2} \text{ (tlak)}$$

$$w_{eI} = 0,603 \cdot (-0,333) = \mathbf{-0,201 \text{ kN/m}^2} \text{ (sání)}$$

$$w_{eJ} = 0,603 \cdot (-0,433) = \mathbf{-0,261 \text{ kN/m}^2} \text{ (sání)}$$

⁴ [4] Tabulka 7.4a – Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro sedlové střechy



Obr. 2.20 Zatížení větrem (příčný zleva) na části A pro variantu sání a sání s tlakem

- Tlak větru a části A a B pro $\theta = 90^\circ$:

Tab. 2.3⁵ Součinitel vnějšího tlaku pro $\theta = 90^\circ$

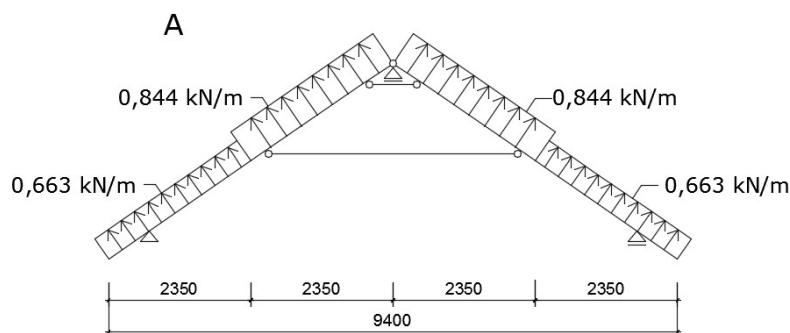
| Úhel sklonu α | F | G | H | I |
|----------------------|------|------|--------|------|
| $C_{pe,10}$ | | | | |
| 30° | -1,1 | -1,4 | -0,8 | -0,5 |
| 35° | -1,1 | -1,4 | -0,833 | -0,5 |
| 45° | -1,1 | -1,4 | -0,9 | -0,5 |

$$w_{eF} = 0,603 \cdot (-1,1) = -0,663 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)}$$

$$w_{eG} = 0,603 \cdot (-1,4) = -0,844 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)}$$

$$w_{eH} = 0,603 \cdot (-0,833) = -0,502 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)}$$

$$w_{eI} = 0,603 \cdot (-0,5) = -0,302 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)}$$



Obr. 2.21 Zatížení větrem (podélný vítr zleva) na části A

⁵ [4] Tabulka 7.4b – Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro sedlové střechy

- Tlak větru na části C pro $\theta = 0^\circ$:

Tab. 2.4⁶ Součinitel vnějšího tlaku pro $\theta = 0^\circ$

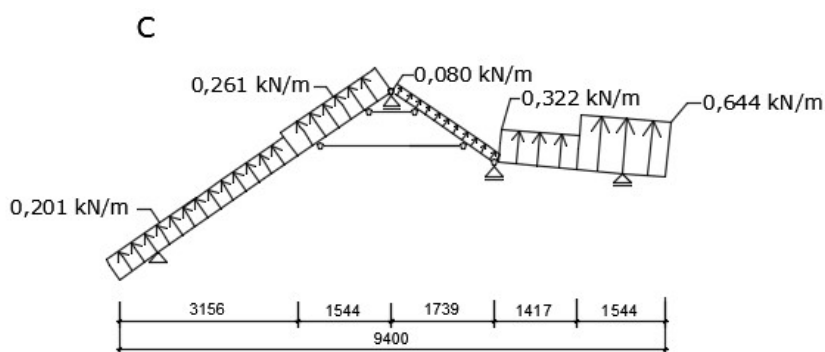
| Úhel sklonu α | F | G | H | I |
|----------------------|------|------|------|------|
| $C_{pe,10}$ | | | | |
| 5° | -1,7 | -1,2 | -0,6 | -0,6 |

$$w_{eF} = 0,603 \cdot (-1,7) = -1,025 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)}$$

$$w_{eG} = 0,603 \cdot (-1,2) = -0,724 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)}$$

$$w_{eH} = 0,603 \cdot (-0,6) = -0,362 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)}$$

$$w_{eI} = 0,603 \cdot (-0,6) = -0,362 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)}$$



Obr. 2.22 Zatížení větrem (příčný vítr zprava) na části C

- Tlak větru na části C pro $\theta = 90^\circ$:

Tab. 2.5⁷ Součinitel vnějšího tlaku pro $\theta = 90^\circ$

| Úhel sklonu α | F | G | H | I |
|----------------------|------|------|------|------|
| $C_{pe,10}$ | | | | |
| 5° | -1,6 | -1,3 | -0,7 | -0,6 |

$$w_{eF} = 0,603 \cdot (-1,6) = -0,965 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)}$$

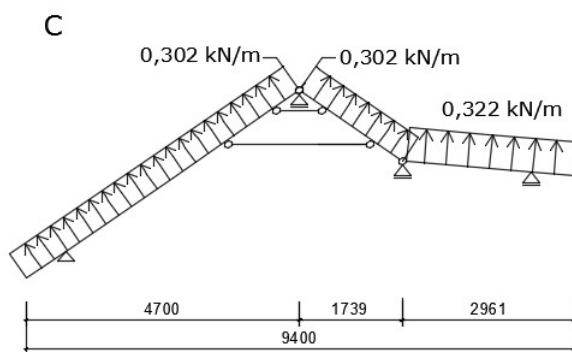
$$w_{eG} = 0,603 \cdot (-1,3) = -0,784 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)}$$

$$w_{eH} = 0,603 \cdot (-0,7) = -0,422 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)}$$

$$w_{eI} = 0,603 \cdot (-0,6) = -0,362 \text{ kN/m}^2 \text{ (sání)}$$

⁶ [4] Tabulka 7.4a – Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro sedlové střechy

⁷ [4] Tabulka 7.4b – Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro sedlové střechy



Obr. 2.23 Zatížení větrem (podélný vítr zprava) na části C

Poslední zatížení, kterému se budu v této práci věnovat je zatížení větrem na štítovou stěnu. Krokve vystupují před stěnu a tím se stěna stává součástí střešní konstrukce. Vítr, který na tuto stěnu působí je potom přenášen do vaznice, která je stěnou podpírána, a způsobuje tak v konstrukci vodorovné síly. Tyto účinky se dělí do dvou oblastí. První oblast (D) je štítová stěna, na kterou vítr působí přímo. Tato stěna bude namáhána tlakem. Na opačném konci střechy v místě protilehlé štítové stěny vzniká oblast druhá (E), ve které bude stěna namáhána naopak sáním.

Stejným zatížením jako na štítových stěnách budu zatěžovat krokve vystupující před stěnu. Zatížení zde bude působit na zatěžovací šířce 0,31 m (tloušťka střešního pláště).

Hodnota maximálního dynamického tlaku $0,603 \text{ kN/m}^2$ se nemění, do výpočtu budou pouze zahrnuty jiné hodnoty součinitelů vnějšího tlaku c_{pe} . Tyto hodnoty jsou v normě dány tabulkou⁸.

| Oblast | A | | B | | C | | D | | E | |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| <i>h/d</i> | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| 5 | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | | +0,8 | +1,0 | -0,7 | |
| 1 | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | | +0,8 | +1,0 | -0,5 | |
| $\leq 0,25$ | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | | +0,7 | +1,0 | -0,3 | |

Obr. 2.24 Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku

⁸ [4] Tabulka 7.1 – Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro svislé stěny pozemních staveb s pravoúhlým půdorysem

V mém případě je výška budovy $h = 7,72$ m a hloubka $d = 16,28$ m (pro B 16,79 m). Podíl hodnot je tak 0,47 a budu proto používat součinitele pro podíl 1,0.

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

$$w_{eD} = 0,603 \cdot 0,8 = \mathbf{0,482 \text{ kN/m}^2}$$

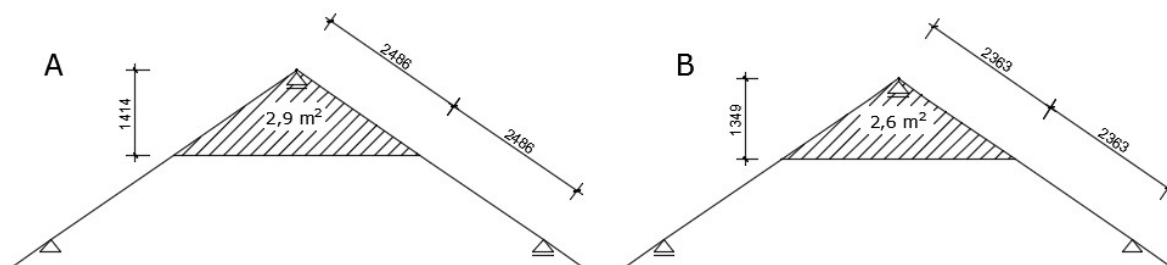
$$w_{eE} = 0,603 \cdot (-0,5) = \mathbf{-0,302 \text{ kN/m}^2}$$

Přepočet zatížení na krokve:

$$w_{eD} = 0,482 \cdot 0,31 = \mathbf{0,15 \text{ kN/m}}$$

$$w_{eE} = (-0,302) \cdot 0,31 = \mathbf{-0,09 \text{ kN/m}}$$

Následuje výpočet síly přenášené ze štítové stěny do vrcholové vaznice. Účinky vodorovné síly na pozednice zanedbám vzhledem k jejich uložení po celé délce na železobetonovém věnci. Pro tento výpočet budu uvažovat, že zatížení působící od horní poloviny výšky mezi pozednicemi a vaznicí přenesou vaznice a zatížení působící od poloviny dolů přenesou pozednice. Plocha, na které působí síly, jenž přenesou vaznice, je tedy pro část konstrukce A $2,9 \text{ m}^2$ a pro část B $2,6 \text{ m}^2$ (viz vyšrafovaná plocha na obr. 2.25).



Obr. 2.25 Plocha zatížení přenášeného do vaznice na částech A a B

Výpočet vodorovné síly (část A):

$$H_{AD} = w_{eD} \cdot A_A = 0,482 \cdot 2,9 = \mathbf{1,4 \text{ kN}}$$

$$H_{AE} = w_{eE} \cdot A_A = (-0,302) \cdot 2,9 = \mathbf{-0,9 \text{ kN}}$$

Výpočet vodorovné síly (část B):

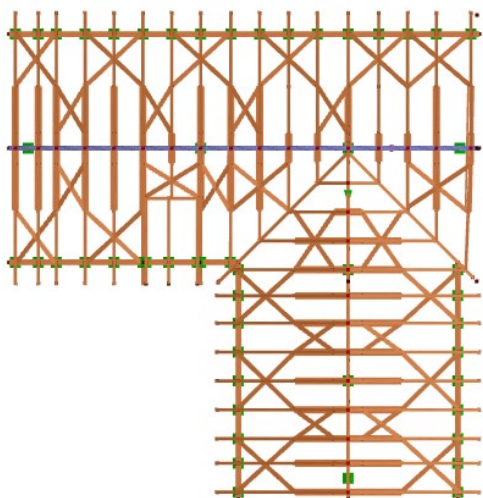
$$H_{BD} = w_{eD} \cdot A_B = 0,482 \cdot 2,6 = \mathbf{1,3 \text{ kN}}$$

$$H_{BE} = w_{eE} \cdot A_B = (-0,302) \cdot 2,6 = \mathbf{-0,8 \text{ kN}}$$

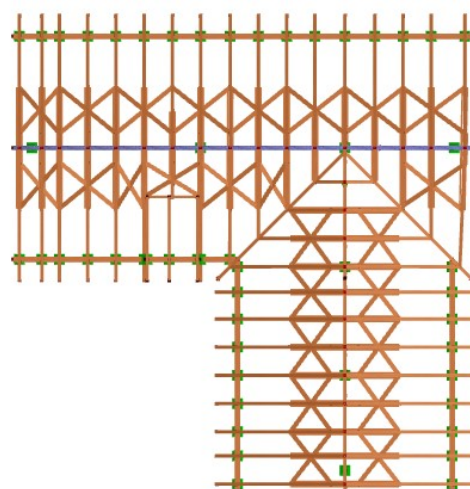
Tyto síly do RFEMu vkládám jako zatížení na uzel v místě podpory, která zastupuje štítovou stěnu. Vaznice je tak vždy v jedné podpoře tlačena a ve druhé sána. Jelikož vaznice jsou ve směru působení těchto sil zajištěné proti posunu, jsou účinky těchto sil přeneseny, aniž by způsobily vyklonění konstrukce nebo její části.

Na rozdíl od toho vodorovné zatížení krokví způsobilo jejich průhyb ve směru osy y každého prutu. Těmto deformacím můžeme zabránit. Na konstrukci proto dodatečně navrhuji zavětrování dřevěnými profily o průřezu 40/160.

Návrh zavětrování je ovšem zkomplikován tím, že se jedná o obytné podkroví a je tedy potřeba mezi vazbami nechat místa pro okna, což vylučuje návrh zavětrování v místech mezi spodními kleštinami a pozednicí. Provedla jsem tudíž dvě možné varianty, které tento problém řeší. Jedna je doplnění zavětrování v mezerách vzniklých okny zavětrováním mezi kleštinami (viz. obr. 2.26). Druhé řešení je provedení souvislého zavětrování mezi horními a dolními kleštinami (obr. 2.27).



Obr. 2.27 První varianta zavětrování



Obr. 2.26 Druhá varianta zavětrování

Z obrázku 2.28 a 2.29., které ukazují vodorovný průhyb krokví pro jednotlivé způsoby zavětrování, vyplývá, že druhá varianta je pro konstrukci mnohem efektivnější a volím proto ji.



Obr. 2.28 Vodorovný průhyb krokve u první varianty zavětrování



Obr. 2.29 Vodorovný průhyb krokve u druhé varianty zavětrování

2.2.5 Kombinace

Kombinovat budeme těchto 14 zatěžovacích stavů:

- ZS1 – vlastní tíha
- ZS2 – střešní plášť
- ZS3 – užité zatížení
- ZS4 – sníh plný
- ZS5 – sníh navátý 1
- ZS6 – sníh navátý 2
- ZS7 – vítr ve směru +Y sání
- ZS8 – vítr ve směru +Y sání/tlak
- ZS9 – vítr ve směru -Y sání
- ZS10 – vítr ve směru -Y sání/tlak
- ZS11 – vítr ve směru +X sání
- ZS12 – vítr ve směru +X sání/tlak
- ZS13 – vítr ve směru -X sání
- ZS14 – vítr ve směru -X sání/tlak

Základní nastavení pro tvoření kombinací jsou taková, že první dva zatěžovací stavy (zatížení stálé) působí vždy. Působení klimatických zatížení je střídavé tzn., že vždy působí maximálně jeden vítr a jeden sníh. Užité zatížení se nekombinuje se sněhem⁹.

⁹ [3] 3.3.2

Při výpočtu jsou uvažována tyto kombinační pravidla¹⁰:

- **MSÚ (STR/GEO) – stálá/přechodná**

Kombinace návrhových hodnot zatížení pro výpočet vnitřních sil na prutech.

Posouzení bude provedeno na nejhorší kombinaci podle rovnic:

6.10

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

6.10a

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

6.10b

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- **MSP – charakteristická**

Kombinace pro výpočet okamžitých deformací. Zatížení je zde dosazováno v charakteristických hodnotách podle rovnice 6.14 (ČSN EN 1990):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

- **MSP – kvazistálá**

Kvazistálá kombinace se používá především pro zjištění dlouhodobých účinků zatížení na konstrukci a jeho vlivu na její vzhled.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} (1 + k_{def}) + P_k + Q_{k,1} (1 + \Psi_{2,1} k_{def}) + \sum_{i \geq 1} Q_{k,i} (\Psi_{0,i} + \Psi_{2,1} k_{def})$$

Tab. 2.6 Hodnoty použitých kombinačních součinitelů

| γ_G | γ_Q | ξ | $\Psi_0 [-]$ | | | Ψ_2 | k_{def} |
|------------|------------|-------|--------------|------|------|----------|-----------|
| $[-]$ | $[-]$ | $[-]$ | užitné | sníh | vítr | $[-]$ | $[-]$ |
| 1,35 | 1,5 | 0,85 | 0,0 | 0,5 | 0,6 | 0,0 | 0,8 |

¹⁰ [1] 6.4.3.2; 6.5.3

3. MEZNÍ STAV ÚNOSTNOSTI

V rámci mezního stavu únosnosti posuzujeme konstrukci na účinky vnitřních sil, které by mohly způsobit ztrátu stability konstrukce nebo její části. Prvky budu vždy posuzovat na nejhorší vnitřní síly a vnitřní síly jim odpovídající. U každého způsobu namáhání tak bude vyhotoveno posouzení pro 3 (nebo 2) možné kombinace hodnot vnitřních sil. Tento ruční výpočet bude porovnán s výpočtem provedeným v přídatném modulu RF-TIMBER Pro. V hlavní části práce uvedu vždy jen číslo, aby bylo možné provést porovnání (a především kontrolu), nicméně celý protokol je možné nalézt v Příloze č. 2.

Rozdíly ve výsledku ručního výpočtu a výpočtu programem mohou být způsobeny jak zaokrouhlováním, tak způsobem, jakým program vybírá vnitřní síly pro posudek. Na rozdíl od ručního výpočtu, kde hledám vždy síly maximální a jim odpovídající, je program schopen vyhodnotit všechny možné kombinace sil (z nichž ani jedna nemusí být síla maximální) a vybrat tu nejkritičtější.

Posouzení provedu v každé části konstrukce pro všechny typy prvků. Vynechám pouze posouzení horních kleštín, které jsou podle programu využity maximálně na 10%. Protokol tohoto výpočtu je však možné najít v Příloze č. 2.

3.1 Materiálové charakteristiky

Tab. 3.1 Materiálové charakteristiky pro jehličnaté dřevo C24

| | Velikost | Popis veličiny |
|--------------------|----------|---|
| $f_{m,k}$ [MPa] | 24 | Charakteristická pevnost dřeva v ohybu |
| $f_{t,0,k}$ [MPa] | 14 | Charakteristická pevnost dřeva v tahu ve směru rovnoběžně s vlákny |
| $f_{c,0,k}$ [MPa] | 21 | Charakteristická pevnost dřeva v tlaku ve směru rovnoběžně s vlákny |
| $f_{v,k}$ [MPa] | 4,0 | Charakteristická pevnost dřeva ve smyku |
| $E_{0,mean}$ [GPa] | 11 | Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny |

| | | |
|-------------------------------|-------|---|
| $E_{0,05}$ [GPa] | 7,33 | 5% - kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny |
| G_{mean} [GPa] | 0,69 | Modul pružnosti dřeva ve smyku |
| ρ_k [kg/m ³] | 350 | Objemová hmotnost dřeva |
| γ_M [-] | 1,3 | Dílčí součinitel vlastnosti materiálu |
| k_{mod} [-] | 0,9 | Modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti |
| $f_{m,d}$ [MPa] | 16,62 | Návrhová pevnost dřeva v ohybu |
| $f_{t,0,d}$ [MPa] | 9,69 | Návrhová pevnost dřeva v tahu ve směru rovnoběžně s vlákny |
| $f_{c,0,d}$ [MPa] | 14,54 | Návrhová pevnost dřeva v tlaku ve směru rovnoběžně s vlákny |
| $f_{v,d}$ [MPa] | 2,77 | Návrhová pevnost dřeva ve smyku |

Návrhové hodnoty vlastností materiálu se z charakteristických hodnot spočítají podle následujícího pravidla:

$$X_D = k_{\text{mod}} \frac{X_K}{\gamma_M}$$

Tab. 3.2 Materiálové charakteristiky pro ocel S235

| | Velikost | Popis veličiny |
|-----------------------------|----------|---------------------------------------|
| f_y [MPa] | 235 | Charakteristická mez kluzu |
| f_u [MPa] | 360 | Charakteristická mez pevnosti |
| E [GPa] | 210 | Modul pružnosti v tahu a tlaku |
| G [GPa] | 81 | Modul pružnosti ve smyku |
| ν [-] | 0,3 | Poissonův součinitel |
| ρ [kg/m ³] | 7850 | Objemová hmotnost |
| γ_{M0} [-] | 1,0 | Dílčí součinitel vlastnosti materiálu |

| | | |
|-----------------|-----|-----------------------|
| $f_{y,d}$ [MPa] | 235 | Návrhová mez kluzu |
| $f_{u,d}$ [MPa] | 360 | Návrhová mez pevnosti |

U oceli se návrhová hodnota pevnostní veličiny z charakteristické hodnoty určí ze vztahu:

$$f_D = \frac{f_K}{\gamma_M}$$

3.2 Průřezové charakteristiky

Tab. 3.3 Průřezové charakteristiky profilů dřevěných prvků

| Prvek | Průřez | A | I_y | I_z | i_y | i_z | W_y | W_z |
|-----------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|-------|--------------------|--------------------|
| | [mm] | [mm ²] | [mm ⁴] | [mm ⁴] | [mm] | [mm] | [mm ³] | [mm ³] |
| Krokev | 120/160 | 19200 | $41,0 \cdot 10^6$ | $23,0 \cdot 10^6$ | 46,19 | 34,64 | $51,2 \cdot 10^4$ | $38,4 \cdot 10^4$ |
| Krokev | 100/140 | 14000 | $22,9 \cdot 10^6$ | $11,7 \cdot 10^6$ | 40,41 | 28,87 | $32,7 \cdot 10^4$ | $16,7 \cdot 10^4$ |
| Pozednice | 200/150 | 30000 | $56,3 \cdot 10^6$ | $100 \cdot 10^6$ | 43,30 | 57,74 | $75,0 \cdot 10^4$ | $100,0 \cdot 10^4$ |
| Vaznice | 120/200 | 24000 | $80,0 \cdot 10^6$ | $28,8 \cdot 10^6$ | 57,74 | 34,64 | $80,0 \cdot 10^4$ | $48,0 \cdot 10^4$ |
| Výměna | 100/120 | 12000 | $14,4 \cdot 10^6$ | $10,0 \cdot 10^6$ | 34,64 | 28,87 | $24,0 \cdot 10^4$ | $20,0 \cdot 10^4$ |
| Sloupek | 160/160 | 25600 | $54,6 \cdot 10^6$ | $54,6 \cdot 10^6$ | 46,19 | 46,19 | $68,3 \cdot 10^4$ | $68,3 \cdot 10^4$ |
| Pásky | 100/120 | 12000 | $14,4 \cdot 10^6$ | $10,0 \cdot 10^6$ | 34,64 | 28,87 | $24,0 \cdot 10^4$ | $20,0 \cdot 10^4$ |
| Kleštiny | 140/60 | 16800 | $27,4 \cdot 10^6$ | $5,0 \cdot 10^6$ | 40,41 | 17,34 | $39,2 \cdot 10^4$ | $16,8 \cdot 10^4$ |
| Zavětrov. | 40/160 | 6400 | $13,7 \cdot 10^6$ | $0,9 \cdot 10^6$ | 46,19 | 11,55 | $17,1 \cdot 10^4$ | $4,3 \cdot 10^4$ |

Tab. 3.4 materiálové charakteristiky ocelové vaznice

| Profil | h | b | A | I_y | I_z | W_y | W_z |
|--------|------|------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | [mm] | [mm] | [mm ²] | [mm ⁴] | [mm ⁴] | [mm ³] | [mm ³] |
| 2xU220 | 220 | 160 | 7480 | $5,38 \cdot 10^7$ | $2,96 \cdot 10^7$ | $48,9 \cdot 10^4$ | $37,0 \cdot 10^4$ |

3.3 Postup posouzení při ručním výpočtu

Na dřevěných prvcích krovu se vyskytují následující namáhání:

- **Kombinace tlaku a ohybu¹¹**

Pro ohyb kolem obou os musí být zároveň splněny podmínky:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

nebo pro ověření stability (vzpěr)¹²:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde $\sigma_{c,0,d}$ - návrhové napětí v tlaku ve směru rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} \quad [MPa]$$

$\sigma_{m,y,d}$ - návrhové napětí v ohybu k ose y

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \quad [MPa]$$

$\sigma_{m,z,d}$ - návrhové napětí v ohybu k ose z

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} \quad [MPa]$$

¹¹ [6] 6.2.4

¹² [6] 6.3.2

- **Kombinace tahu a ohybu**¹³

Musí být zároveň splněny podmínky:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

kde $\sigma_{t,0,d}$ - návrhové napětí v tahu ve směru rovnoběžně s vlákny

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,d}}{A} \quad [MPa]$$

- **Dvouosý ohyb**¹⁴

Musí být zároveň splněny podmínky:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

- **Kroucení**¹⁵

$$\tau_{tor,d} \leq k_{shape} \cdot f_{v,d}$$

kde $\tau_{tor,d}$ - návrhové napětí ve smyku od kroucení

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_T}{W_T} \quad [MPa]$$

k_{shape} - součinitel závislý na tvaru průřezu

$$k_{shape} = \min \left\{ 1 + 0,15 \frac{h}{b} \right. \\ \left. 2,0 \right.$$

¹³ [6] 6.2.3

¹⁴ [6] 6.1.6

¹⁵ [6] 6.1.8

Na ocelovém prvku se vyskytují následující namáhání:

- **Dvouosý ohyb a osová síla**¹⁶

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

kde

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{W_y} + \frac{M_{z,Ed}}{W_z}$$

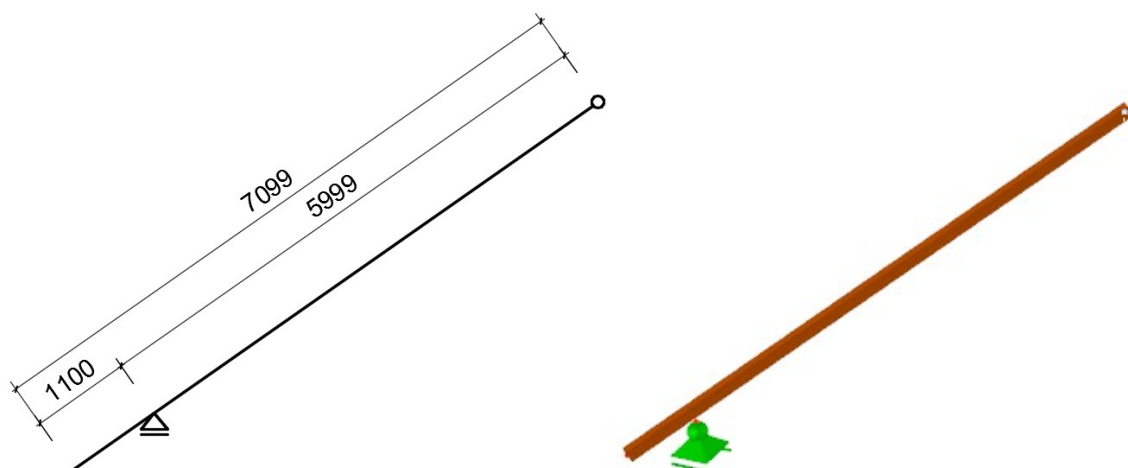
W_y - elastický průřezový modul k ose y (třída 3)

W_z - elastický průřezový modul k ose z (třída 3)

3.4 Posouzení dřevěných prvků

ÚŽLABNÍ KROKEV

| | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| Průřez | 120/160 |
| Délka prvku | $L = 7\,099\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose y | $i_y = 46,19\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose z | $i_z = 34,64\text{ mm}$ |
| Plocha prvku | $A = 19\,200\text{ mm}^2$ |
| Součinitel k_m | $k_m = 0,7$ |
| Průřezový modul k se y | $W_y = 51,2 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |
| Průřezový modul k se z | $W_z = 38,4 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |



Obr. 3.1 Geometrie úžlabní krokve

¹⁶ [5] 6.2.9.2

• **Kombinace tlaku a ohybu**

Pro ohyb kolem obou os musí být zároveň splněny podmínky:

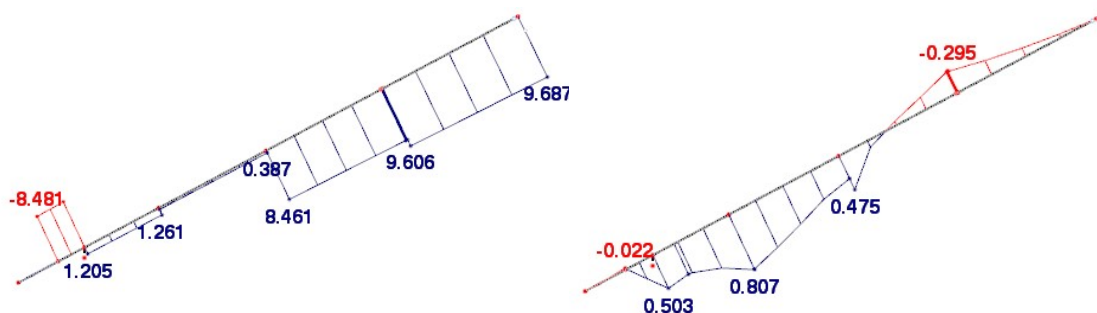
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

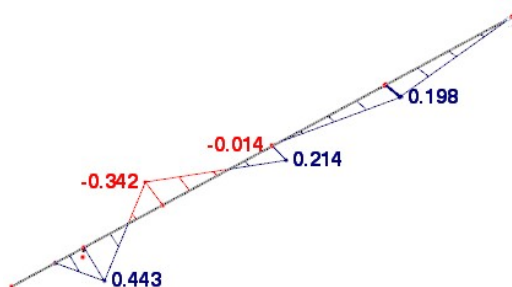
| | | |
|---------------------------------|---|-----------|
| Vzpěrná délka | $L_{cr,y,z} = \beta \cdot L = 1,0 \cdot 7099 =$ | 7 099 mm |
| Štíhlostní poměr (ohyb okolo y) | $\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7099}{46,19} =$ | 153,7 |
| Štíhlostní poměr (ohyb okolo z) | $\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{7099}{34,64} =$ | 204,93 |
| Poměrný štíhlostní poměr (y) | $\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{153,7}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7333}} =$ | 2,62 |
| Poměrný štíhlostní poměr (z) | $\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{204,93}{\pi} \sqrt{\frac{21}{7333}} =$ | 3,49 |
| Součinitel vzpěrnosti (y) | $k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) =$ $= 0,5(1 + 0,2(2,62 - 0,3) + 2,62^2) =$ | 4,16 |
| Součinitel vzpěrnosti (z) | $k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) =$ $= 0,5(1 + 0,2(3,49 - 0,3) + 3,49^2) =$ | 6,91 |
| Součinitel vzpěrnosti (y) | $k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{4,16 + \sqrt{4,16^2 - 2,62^2}} =$ | 0,14 |
| Součinitel vzpěrnosti (z) | $k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{6,91 + \sqrt{6,91^2 - 3,49^2}} =$ | 0,08 |
| Pevnost dřeva v tlaku | $f_{c,0,d}$ | 14,54 MPa |
| Pevnost dřeva v ohybu | $f_{m,d}$ | 16,62 MPa |

Tab. 3.5 Posouzení úžlabní krokve na kombinaci tlaku a ohybu

| | | | | | | |
|-----------------------|--------------|------------------|------------------|-----------|--------------|----------------------|
| $N_{c,max}$ (KV45) | $N_{c,max}$ | -8,461 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,441 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,odp.}$ | 0,345 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 0,674 MPa | $0,29 < 1,0$ | 0,45 < 1,0 |
| | $M_{z,odp.}$ | -0,209 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,544 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| $M_{y,max}$ (KV43) | $N_{c,odp}$ | -4,904 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,255MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,max}$ | 0,503 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 0,982 MPa | $0,24 < 1,0$ | $0,34 < 1,0$ |
| | $M_{z,odp.}$ | 0,443 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 1,154 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| $M_{z,max}$ (KV43) | $N_{c,odp}$ | -4,904 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,255 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,odp}$ | 0,503 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 0,982 MPa | $0,24 < 1,0$ | $0,34 < 1,0$ |
| | $M_{z,max.}$ | 0,443 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 1,154 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |



Obr. 3.2 Průběh extrémních záporných normálových sil a kladných ohybových momentů kolem osy y na úžlabní krokvi



Obr. 3.3 Průběh ohybových momentů kolem osy z na úžlabní krokvi

• Kombinace tahu a ohybu

Musí být zároveň splněny podmínky:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

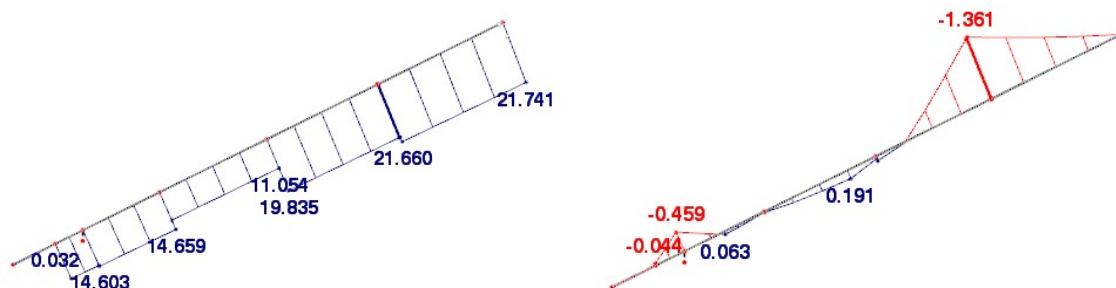
$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Pevnost dřeva v tahu $f_{t,0,d}$ 9,69 MPa

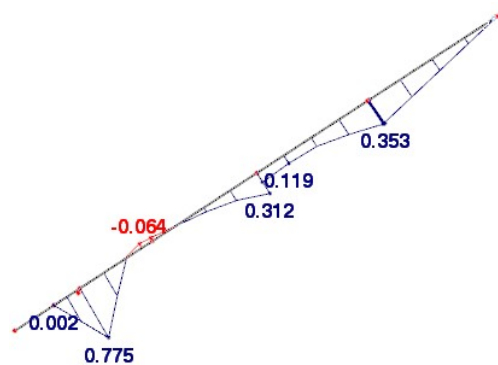
Tab. 3.6 Posouzení úžlabní krokve na kombinaci tahu a ohybu

| | | | | | | |
|------------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------|------------|
| N _{t,max} (KV10) | N _{t,max} | 21,660 kN | σ _{t,0,d} | 1,128 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | M _{y,odp.} | -0,888 kNm | σ _{m,y,d} | 1,734 MPa | 0,24 < 1,0 | 0,22 < 1,0 |
| | M _{z,odp.} | 0,183 kNm | σ _{m,z,d} | 0,477 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| M _{y,max} (KV6) | N _{t,odp} | 12,588 kN | σ _{t,0,d} | 0,656 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | M _{y,max} | -1,356 kNm | σ _{m,y,d} | 2,648 MPa | 0,27 < 1,0 | 0,23 < 1,0 |
| | M _{z,odp.} | -0,353 kNm | σ _{m,z,d} | 0,919 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| M _{z,max} (KV16) | N _{t,odp} | 4,568 kN | σ _{t,0,d} | 0,238 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | M _{y,odp} | -0,294 kNm | σ _{m,y,d} | 0,574 MPa | 0,22 < 1,0 | 0,22 < 1,0 |
| | M _{z,max.} | 0,775 kNm | σ _{m,z,d} | 2,018 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

Maximální tahová síla v tomto prutu je 21,741 kN, nachází se však v místě kloubu, kde jsou oba odpovídající momenty nulové. Vybrala jsem proto sílu menší, u které dochází i ke vzniku ohybových momentů v obou směrech. Maximální využití krokvi v části A bylo programem vyhodnoceno jako **45 %** a to pro kombinaci tlaku a dvojosého ohybu.



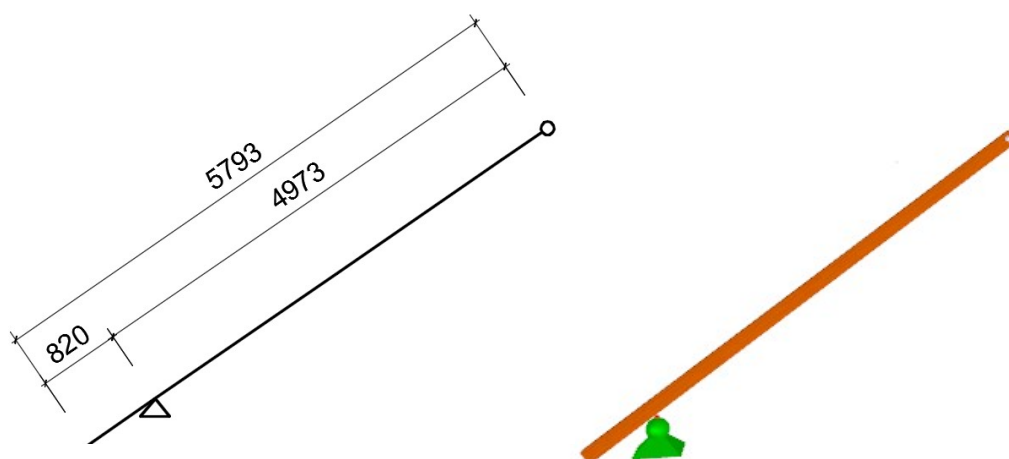
Obr. 3.4 Průběh extrémních kladných normálových sil a záporných ohybových momentů okolo osy y na úžlabní krokvi



Obr. 3.5 Průběh extrémních kladných ohybových momentů okolo osy z na úžlabní krokvi

KROKEV V ČÁSTI A

| | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| Průřez | 120/160 |
| Délka prvku | $L = 5\,793\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose y | $i_y = 46,19\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose z | $i_z = 34,64\text{ mm}$ |
| Plocha prvku | $A = 19\,200\text{ mm}^2$ |
| Součinitel k_m | $k_m = 0,7$ |
| Průřezový modul k se y | $W_y = 51,2 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |
| Průřezový modul k se z | $W_z = 38,4 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |



Obr. 3.6 Geometrie krokve v části A

• **Kombinace tlaku a ohybu**

Pro ohyb kolem obou os musí být zároveň splněny podmínky:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Tab. 3.7 Výpočet součinitele vzpěrnosti krokve v části A

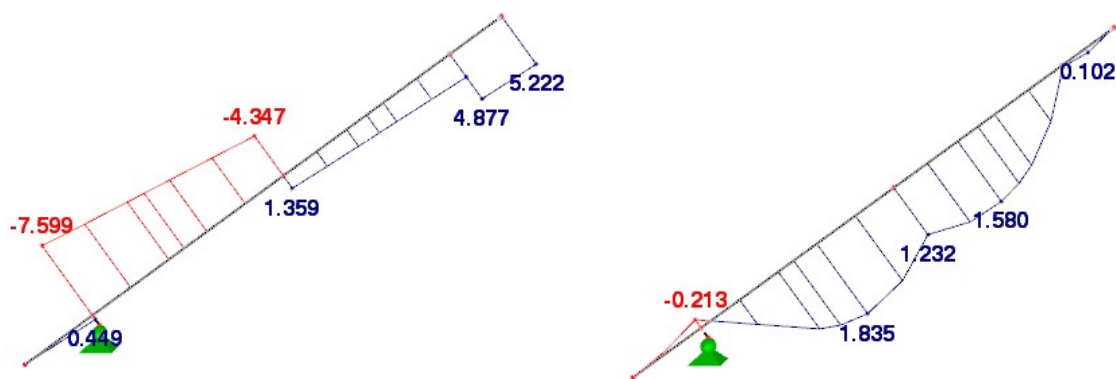
| $L_{cr,y}$ | $L_{cr,z}$ | λ_y | λ_z | $\lambda_{rel,y}$ | $\lambda_{rel,z}$ | k_y | k_z | $k_{c,y}$ | $k_{c,z}$ |
|------------|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-----------|-----------|
| [mm] | [mm] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] |
| 5793 | 5793 | 125,42 | 167,23 | 2,14 | 2,85 | 2,97 | 4,81 | 0,2 | 0,12 |

Pevnost dřeva v tlaku $f_{c,0,d}$ 14,54 MPa

Pevnost dřeva v ohybu $f_{m,d}$ 16,62 MPa

Tab. 3.8 Posouzení krokve v části A na kombinaci tlaku a ohybu

| | | | | | | |
|-----------------------|--------------|------------------|------------------|-----------|------------|----------------------|
| $N_{c,max}$ (KV8) | $N_{c,max}$ | -7,599 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,396 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,odp.}$ | -0,550 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 1,074 MPa | 0,20 < 1,0 | 0,28 < 1,0 |
| | $M_{z,odp.}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,0 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| $M_{y,max}$ (KV6) | $N_{c,odp}$ | -5,088 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,265 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,max}$ | 1,835 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 3,583 MPa | 0,31 < 1,0 | 0,31 < 1,0 |
| | $M_{z,odp.}$ | 0,014 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,036 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| $M_{z,max}$ (KV14) | $N_{c,odp}$ | -1,255 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,065 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,odp}$ | -0,486 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 0,949 MPa | 0,13 < 1,0 | 0,15 < 1,0 |
| | $M_{z,max.}$ | 0,435 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 1,133 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |



Obr. 3.7 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y na krokvi v části A namáhané tlakem

- Kombinace tahu a ohybu**

Musí být zároveň splněny podmínky:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

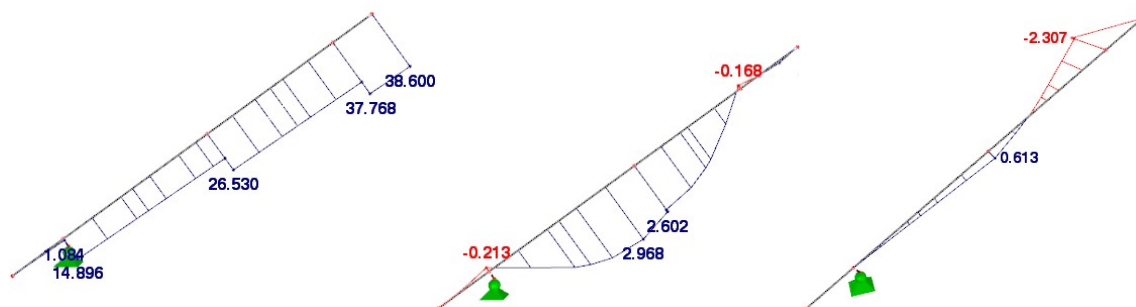
Pevnost dřeva v tahu

$f_{t,0,d}$ 9,69 MPa

Tab. 3.9 Posouzení krokve v části A na kombinaci tahu a ohybu

| | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-----------|------------|----------------------|
| N _{t,max} (KV8) | N _{t,max} | 38,600 kN | σ _{t,0,d} | 2,01 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | M _{y,odp.} | 0,0 kNm | σ _{m,y,d} | 0,0 MPa | 0,21 < 1,0 | 0,21 < 1,0 |
| | M _{z,odp.} | 0,0 kNm | σ _{m,z,d} | 0,0 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| M _{y,max} (KV6) | N _{t,odp} | 8,222 kN | σ _{t,0,d} | 0,428 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | M _{y,max} | 2,968 kNm | σ _{m,y,d} | 5,797 MPa | 0,42 < 1,0 | 0,39 < 1,0 |
| | M _{z,odp.} | -0,226 kNm | σ _{m,z,d} | 0,589 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| M _{z,max} (KV8) | N _{t,odp} | 11,363 kN | σ _{t,0,d} | 0,592 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | M _{y,odp} | -0,718 kNm | σ _{m,y,d} | 1,402 MPa | 0,40 < 1,0 | 0,48 < 1,0 |
| | M _{z,max.} | -2,307 kNm | σ _{m,z,d} | 6,007 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

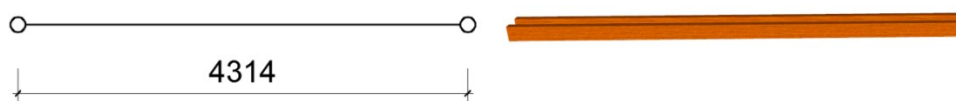
Maximální využití krokvi v části A bylo programem vyhodnoceno jako **51 %** a to pro kombinaci tahu a dvojosého ohybu.



Obr. 3.8 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y a z na krokvi v části A namáhané tahem

KLEŠTINY V ČÁSTI A (SPODNÍ)

| | |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Průřez | 140/120/60 |
| Délka prvku | $L = 4\,314\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose y | $i_y = 40,41\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose z | $i_z = 17,34\text{ mm}$ |
| Plocha prvku | $A = 16\,800\text{ mm}^2$ |
| Součinitel k_m | $k_m = 1,0$ |
| Průřezový modul k se y | $W_y = 39,2 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |
| Průřezový modul k se z | $W_z = 16,8 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |



Obr. 3.9 Geometrie spodních kleštín v části A

• **Kombinace tlaku a ohybu**

Pro ohyb kolem obou os musí být zároveň splněny podmínky:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Tab. 3.10 Výpočet součinitele vzpěrnosti pro spodní kleštiny v části A

| $L_{cr,y}$ | $L_{cr,z}$ | λ_y | λ_z | $\lambda_{rel,y}$ | $\lambda_{rel,z}$ | k_y | k_z | $k_{c,y}$ | $k_{c,z}$ |
|------------|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-----------|-----------|
| [mm] | [mm] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] |
| 4314 | 4314 | 106,76 | 248,79 | 1,82 | 4,24 | 2,31 | 9,87 | 0,27 | 0,05 |

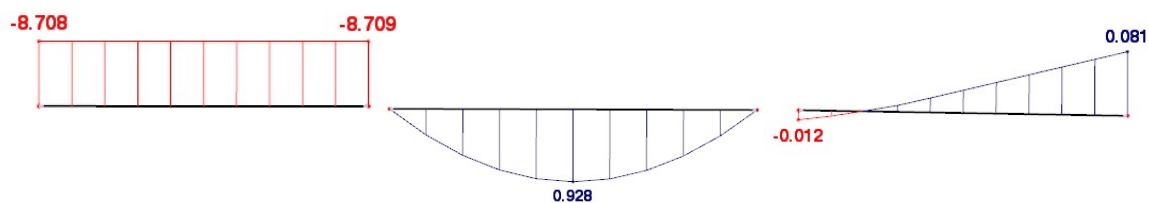
Pevnost dřeva v tlaku $f_{c,0,d}$ 14,54 MPa

Pevnost dřeva v ohybu $f_{m,d}$ 16,62 MPa

Tab. 3.11 Posouzení spodních kleštín v části A na kombinaci tlaku a ohybu

| | | | | | | |
|----------------------|--------------|------------------|------------------|-----------|------------|----------------------|
| $N_{c,max}$ (KV6) | $N_{c,max}$ | -8,709 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,518 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,odp.}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 0,0 MPa | 0,13 < 1,0 | 0,67 < 1,0 |
| | $M_{z,odp.}$ | 0,003 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,018 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| $M_{y,max}$ (KV1) | $N_{c,odp.}$ | -4,523 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,269 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,max}$ | 0,928 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 2,367 MPa | 0,21 < 1,0 | 0,49 < 1,0 |
| | $M_{z,odp.}$ | 0,002 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,012 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| $M_{z,max}$ (KV6) | $N_{c,odp.}$ | -7,272 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,433 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,odp.}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 0,0 MPa | 0,14 < 1,0 | 0,59 < 1,0 |
| | $M_{z,max.}$ | 0,081 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,482 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

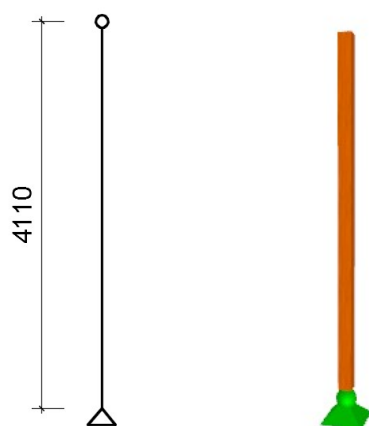
Maximální využití spodních kleštin v části A bylo programem vyhodnoceno jako **66 %** a to pro kombinaci tlaku a ohybu okolo osy z.



Obr. 3.10 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y a z na spodní kleštině v části A

SLOUPEK V ČÁSTI A

| | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| Průřez | 160/160 |
| Délka prvku | $L = 4\,110\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose y | $i_y = 46,19\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose z | $i_z = 46,19\text{ mm}$ |
| Plocha prvku | $A = 25\,600\text{ mm}^2$ |
| Součinitel k_m | $k_m = 0,7$ |
| Průřezový modul k se y | $W_y = 68,3 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |
| Průřezový modul k se z | $W_z = 68,3 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |



Obr. 3.11 Geometrie sloupku v části A

- Osový tlak

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c f_{c,0,d}} \leq 1$$

Tab. 3.12 Výpočet součinitele vzpěrnosti u sloupku v části A

| L_{cr} | λ | λ_{rel} | k | k_c |
|----------|-----------|-----------------|------|-------|
| [mm] | [-] | [-] | [-] | [-] |
| 4110 | 88,98 | 1,52 | 1,77 | 0,37 |

Pevnost dřeva v tlaku $f_{c,0,d}$ 14,54 MPa

Pevnost dřeva v ohybu $f_{m,d}$ 16,62 MPa

Tab. 3.13 Posouzení sloupku v části A na tlak

| $N_{c,max}$ (KV6) | $\sigma_{c,0,d}$ | Podmínka | |
|-------------------|------------------|----------------------|--------|
| -133,253 kN | 5,205 MPa | 0,96 < 1,0 | VYHOVÍ |

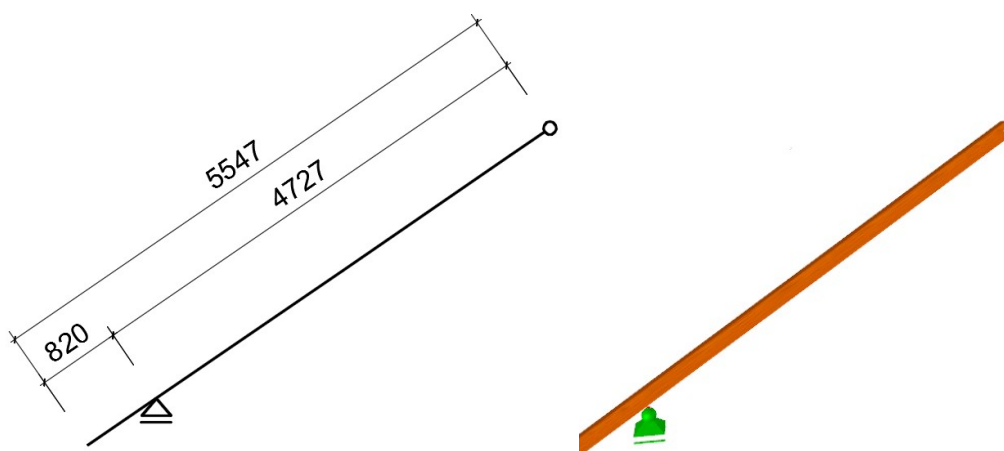
Maximální využití sloupku v části A bylo programem vyhodnoceno jako **95 %** při namáhání osovým tlakem.



Obr. 3.12 Průběh extrémních normálových sil na sloupku v části A

KROKEV V ČÁSTI B

| | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| Průřez | 120/160 |
| Délka prvku | $L = 5\,547\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose y | $i_y = 46,19\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose z | $i_z = 34,64\text{ mm}$ |
| Plocha prvku | $A = 19\,200\text{ mm}^2$ |
| Součinitel k_m | $k_m = 0,7$ |
| Průřezový modul k se y | $W_y = 51,2 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |
| Průřezový modul k se z | $W_z = 38,4 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |



Obr. 3.13 Geometrie krokve v části B

Přestože u krokví v části B vznikají i síly záporné ($N_{c,max} = -4,127\text{ kN}$), provedu pouze posouzení na kombinaci tahu a ohybu. Tahové síly jsou totiž daleko větší ($N_{t,max} = 39,865\text{ kN}$) a dřevo má menší únosnost v tahu než v tlaku. Dá se tedy předpokládat, že k největšímu namáhání prvku dojde právě při kombinaci tahu a ohybu.

- Kombinace tahu a ohybu**

Musí být zároveň splněny podmínky:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

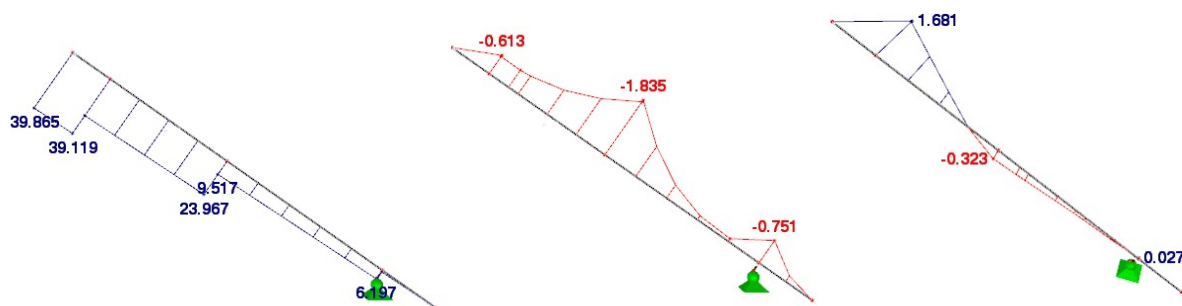
$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Pevnost dřeva v tahu $f_{t,0,d} \dots \dots \dots 9,69\text{ MPa}$

Tab. 3.14 Posouzení krokve v části B na kombinaci tahu a ohybu

| | | | | | | |
|-----------------------|--------------|-------------------|------------------|-----------|--------------|-----------------------------------|
| $N_{t,max}$ (KV18) | $N_{t,max}$ | 39,865 kN | $\sigma_{t,0,d}$ | 2,076 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,odp.}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 0,0 MPa | $0,30 < 1,0$ | $0,34 < 1,0$ |
| | $M_{z,odp.}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,0 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| $M_{y,max}$ (KV12) | $N_{t,odp}$ | 6,268 kN | $\sigma_{t,0,d}$ | 0,326 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,max}$ | -1,835 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 3,584 MPa | $0,25 < 1,0$ | $0,19 < 1,0$ |
| | $M_{z,odp.}$ | 0,021 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,055 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| $M_{z,max}$ (KV20) | $N_{t,odp}$ | 21,499 kN | $\sigma_{t,0,d}$ | 1,120 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,odp}$ | -0,395 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 0,771 MPa | $0,35 < 1,0$ | $0,41 < 1,0$ |
| | $M_{z,max.}$ | 1,681 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 4,378 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

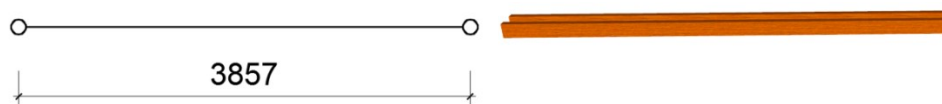
Maximální využití krokvi v části B bylo programem vyhodnoceno jako **42 %** a to pro kombinaci tahu a dvojosého ohybu.



Obr. 3.14 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y a z na krokvi v části B

KLEŠTINY V ČÁSTI B (SPODNÍ)

| | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| Průřez | 140/120/60 |
| Délka prvku | $L = 3\,857\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose y | $i_y = 40,41\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose z | $i_z = 17,34\text{ mm}$ |
| Plocha prvku | $A = 16\,800\text{ mm}^2$ |
| Součinitel k_m | $k_m = 1,0$ |
| Průřezový modul k se y | $W_y = 39,2 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |
| Průřezový modul k se z | $W_z = 16,8 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |



Obr. 3.15 Geometrie spodních kleštin v části B

- Kombinace tlaku a ohybu**

Pro ohyb kolem obou os musí být zároveň splněny podmínky:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Tab. 3.15 Výpočet součinitele vzpěrnosti u kleštin v části B

| $L_{cr,y}$ | $L_{cr,z}$ | λ_y | λ_z | $\lambda_{rel,y}$ | $\lambda_{rel,z}$ | k_y | k_z | $k_{c,y}$ | $k_{c,z}$ |
|------------|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-----------|-----------|
| [mm] | [mm] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] |
| 3857 | 3857 | 95,42 | 222,69 | 1,63 | 3,79 | 1,95 | 8,04 | 0,33 | 0,07 |

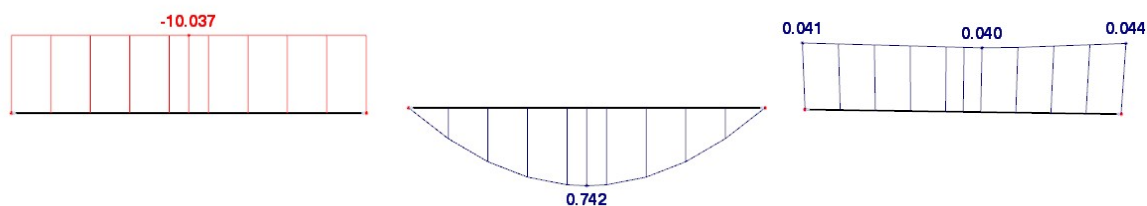
Pevnost dřeva v tlaku $f_{c,0,d}$14,54 MPa

Pevnost dřeva v ohybu $f_{m,d}$16,62 MPa

Tab. 3.16 Posouzení kleštín v části B na kombinaci tlaku a ohybu

| | | | | | | |
|----------------------|--------------|-------------------|------------------|-----------|--------------|----------------------|
| $N_{c,max}$ (KV6) | $N_{c,max}$ | -10,037 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,597 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,odp.}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 0,0 MPa | $0,14 < 1,0$ | 0,63 < 1,0 |
| | $M_{z,odp.}$ | -0,034 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,202 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| $M_{y,max}$ (KV1) | $N_{c,odp}$ | -4,925kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,293MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,max}$ | 0,742 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 1,893 MPa | $0,18 < 1,0$ | $0,42 < 1,0$ |
| | $M_{z,odp.}$ | 0,004 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,024 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| $M_{z,max}$ (KV6) | $N_{c,odp}$ | -7,995 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,433 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,odp}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 0,0 MPa | $0,12 < 1,0$ | $0,51 < 1,0$ |
| | $M_{z,max.}$ | 0,044 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,262 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

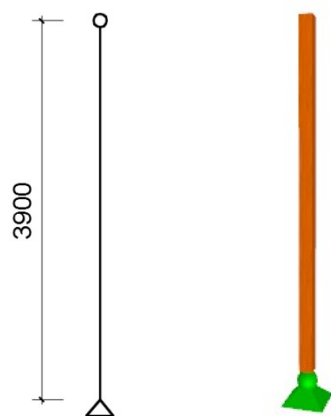
Maximální využití spodních kleštín v části B bylo programem vyhodnoceno jako **62 %** a to pro kombinaci tlaku a ohybu okolo osy z.



Obr. 3.16 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y a z na spodní kleštině v části B

SLOUPEK V ČÁSTI B

| | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| Průřez | 160/160 |
| Délka prvku | $L = 3\,900\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose y | $i_y = 46,19\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose z | $i_z = 46,19\text{ mm}$ |
| Plocha prvku | $A = 25\,600\text{ mm}^2$ |
| Součinitel k_m | $k_m = 0,7$ |
| Průřezový modul k se y | $W_y = 68,3 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |
| Průřezový modul k se z | $W_z = 68,3 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |



Obr. 3.17 Geometrie sloupku v části B

- Kombinace tlaku a ohybu**

Pro ohyb kolem obou os musí být zároveň splněny podmínky:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Tab. 3.17 Výpočet součinitele vzpěrnosti pro sloupek v části B

| $L_{cr,y}$ | $L_{cr,z}$ | λ_y | λ_z | $\lambda_{rel,y}$ | $\lambda_{rel,z}$ | k_y | k_z | $k_{c,y}$ | $k_{c,z}$ |
|------------|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-----------|-----------|
| [mm] | [mm] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] |
| 3900 | 3900 | 84,44 | 84,44 | 1,44 | 1,44 | 1,65 | 1,65 | 0,41 | 0,41 |

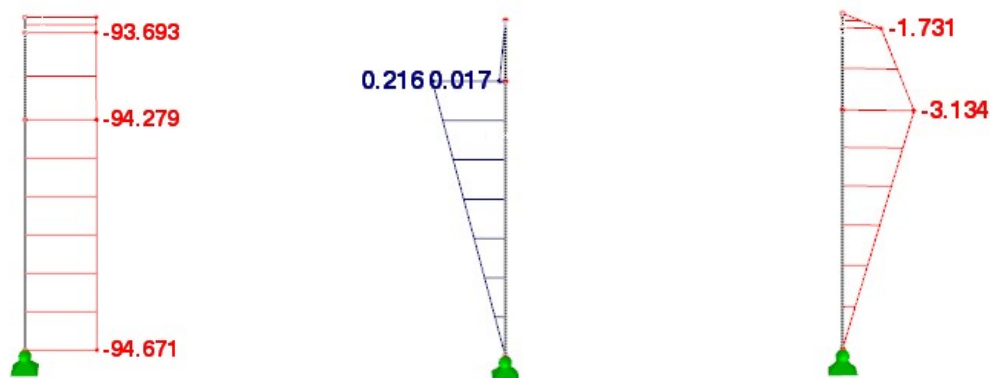
Pevnost dřeva v tlaku $f_{c,0,d}$14,54 MPa

Pevnost dřeva v ohybu $f_{m,d}$16,62 MPa

Tab. 3.18 Posouzení sloupku v části B na kombinaci tlaku a ohybu

| | | | | | | |
|-----------------------|--------------|-------------------|------------------|-----------|----------------------|--------------|
| $N_{c,max}$ (KV3) | $N_{c,max}$ | -94,671 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 3,698 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,odp.}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 0,0 MPa | $0,62 < 1,0$ | $0,62 < 1,0$ |
| | $M_{z,odp.}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,0MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| $M_{y,max}$ (KV45) | $N_{c,odp}$ | -63,618 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 2,485 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,max}$ | 0,216 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 0,316 MPa | $0,44 < 1,0$ | $0,43 < 1,0$ |
| | $M_{z,odp.}$ | 0,010 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,014 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| $M_{z,max}$ (KV6) | $N_{c,odp}$ | -92,902 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 3,629 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,odp}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 0,0 MPa | 0,89 < 1,0 | $0,56 < 1,0$ |
| | $M_{z,max.}$ | -3,134 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 4,591 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

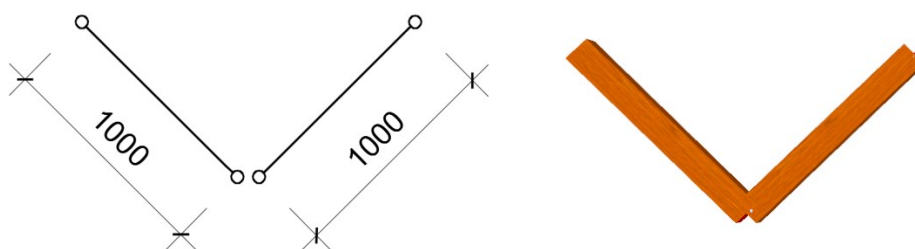
Maximální využití sloupku v části B bylo programem vyhodnoceno jako **88 %** a to pro kombinaci tlaku a ohybu okolo osy z.



Obr. 3.18 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y a z na sloupku v části B

PÁSKY

| | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| Průřez | 100/120 |
| Délka prvku | $L = 1\,000\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose y | $i_y = 34,64\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose z | $i_z = 28,87\text{ mm}$ |
| Plocha prvku | $A = 12\,000\text{ mm}^2$ |
| Součinitel k_m | $k_m = 0,7$ |
| Průřezový modul k se y | $W_y = 24,0 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |
| Průřezový modul k se z | $W_z = 20,0 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |
| Průřezový modul ve smyku | $W_t = 26,2 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |



Obr. 3.19 Geometrie pásků

- Tlak

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c f_{c,0,d}} \leq 1$$

Tab. 3.19 Výpočet součinitele vzpěrnosti pro pásky

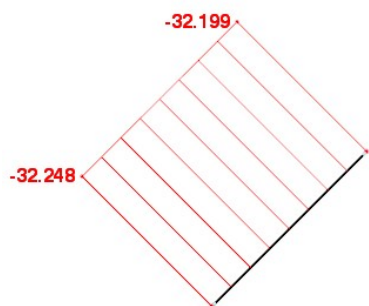
| $L_{cr,y}$ | $L_{cr,z}$ | λ_y | λ_z | $\lambda_{rel,y}$ | $\lambda_{rel,z}$ | k_y | k_z | $k_{c,y}$ | $k_{c,z}$ |
|------------|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-----------|-------------|
| [mm] | [mm] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] |
| 1000 | 1000 | 28,87 | 34,64 | 0,49 | 0,59 | 0,64 | 0,70 | 0,95 | 0,92 |

Pevnost dřeva v tlaku

$f_{c,0,d}$14,54 MPa

Tab. 3.20 posouzení pásků na tlak

| $N_{c,max}$ (KV9) | $\sigma_{c,0,d}$ | Podmínka | |
|-------------------|------------------|--------------|--------|
| -32,248 kN | 2,687 MPa | $0,20 < 1,0$ | VYHOVÍ |



Obr. 3.20 Průběh extrémních normálových sil na pásku

• **Kroucení**

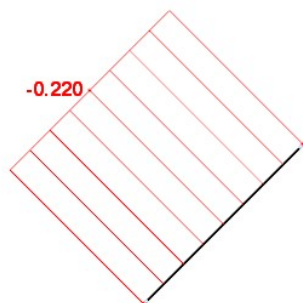
$$\tau_{tor,d} \leq k_{sha} \cdot f_{v,d}$$

Pevnost dřeva ve smyku $f_{v0,d}$ 2,77 MPa

Tab. 3.21 Posouzení pásků na kroucení

| $M_{T,max}$ (KV45) | $\tau_{tor,d}$ | k_{shape} | Posouzení | |
|--------------------|----------------|-------------|--------------------|--------|
| -0,220 kNm | 0,840 MPa | 1,18 | 0,26 < 1 | VYHOVÍ |

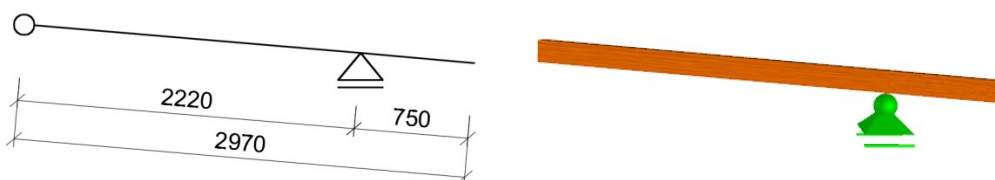
Maximální využití pásků bylo programem vyhodnoceno jako **29 %** a to namáhání kroucením.



Obr. 3.21 Průběh extrémních krouticích momentů na pásku

KROKEV V ČÁSTI C

| | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| Průřez | 100/140 |
| Délka prvku | $L = 2\,970\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose y | $i_y = 40,42\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose z | $i_z = 28,87\text{ mm}$ |
| Plocha prvku | $A = 14\,000\text{ mm}^2$ |
| Součinitel k_m | $k_m = 0,7$ |
| Průřezový modul k se y | $W_y = 32,7 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |
| Průřezový modul k se z | $W_z = 23,3 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |



Obr. 3.22 Geometrie krokve v části C

• Kombinace tlaku a ohybu

Pro ohyb kolem obou os musí být zároveň splněny podmínky:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Tab. 3.22 Výpočet součinitele vzpěrnosti u krokve v části C

| $L_{cr,y}$ | $L_{cr,z}$ | λ_y | λ_z | $\lambda_{rel,y}$ | $\lambda_{rel,z}$ | k_y | k_z | $k_{c,y}$ | $k_{c,z}$ |
|------------|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-----------|-----------|
| [mm] | [mm] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] |
| 2970 | 2970 | 73,49 | 102,88 | 1,25 | 1,75 | 1,38 | 2,18 | 0,51 | 0,29 |

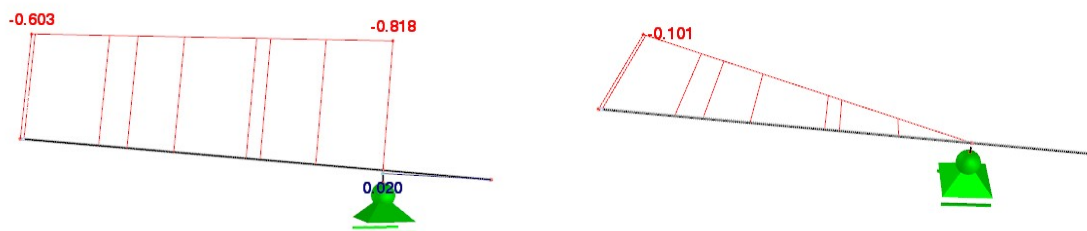
Pevnost dřeva v tlaku $f_{c,0,d}$ 14,54 MPa

Pevnost dřeva v ohybu $f_{m,d}$ 16,62 MPa

Tab. 3.23 Posouzení krokve v části A na kombinaci tlaku a ohybu

| | | | | | | |
|-----------------------|--------------|-------------------|------------------|-----------|----------------------|------------|
| $N_{c,max}$ (KV41) | $N_{c,max}$ | -0,818 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,050 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,odp.}$ | -0,153 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 0,468 MPa | 0,03 < 1,0 | 0,03 < 1,0 |
| | $M_{z,odp.}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,0 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| $M_{y,max}$ (KV4) | $N_{c,odp}$ | -0,038 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,265 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,max}$ | 0,862 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 2,639 MPa | 0,17 < 1,0 | 0,12 < 1,0 |
| | $M_{z,odp.}$ | -0,043 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,184 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| $M_{z,max}$ (KV44) | $N_{c,odp}$ | -0,270 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,016 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,odp}$ | 0,012 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 0,037 MPa | 0,02 < 1,0 | 0,03 < 1,0 |
| | $M_{z,max.}$ | -0,101 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,429 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

Hodnota maximálního ohybového momentu okolo osy y (1,034 kNm) odpovídá normálové tahové síle. Hodnota 0,862 kNm je proto vzata z tabulky, jako maximální ohybový moment okolo osy y, který odpovídá namáhání tlakem.



Obr. 3.23 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy z na krokvi v části C namáhané tlakem

• Kombinace tahu a ohybu

Musí být zároveň splněny podmínky:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

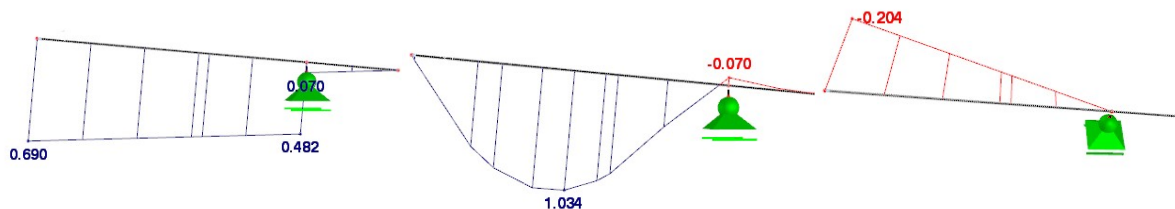
$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Pevnost dřeva v tahu $f_{t,0,d}$9,69 MPa

Tab. 3.24 Posouzení krokve v části C na kombinaci tahu a ohybu

| | | | | | | |
|----------------------|--------------|-------------------|------------------|-----------|----------------------|--------------|
| $N_{t,max}$ (KV6) | $N_{t,max}$ | 0,69 kN | $\sigma_{t,0,d}$ | 0,049 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,odp.}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 0,0 MPa | $0,04 < 1,0$ | $0,06 < 1,0$ |
| | $M_{z,odp.}$ | -0,204 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,874 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| $M_{y,max}$ (KV4) | $N_{t,odp}$ | 0,019 kN | $\sigma_{t,0,d}$ | 0,001 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,max}$ | 1,034 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 3,165 MPa | 0,20 < 1,0 | $0,15 < 1,0$ |
| | $M_{z,odp.}$ | -0,060 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,257 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| $M_{z,max}$ (KV8) | $N_{t,odp}$ | 0,69 kN | $\sigma_{t,0,d}$ | 0,049 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,odp}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 0,0 MPa | $0,04 < 1,0$ | $0,06 < 1,0$ |
| | $M_{z,max.}$ | -0,204 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,874 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

Maximální využití krokví v části C bylo programem vyhodnoceno jako **20 %** a to pro kombinaci dvojsoého ohybu.



Obr. 3.24 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y a z na krokvi v části C namáhané tahem

VÝMĚNA

| | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| Průřez | 100/120 |
| Délka prvku | $L = 2\,000\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose y | $i_y = 34,64\text{ mm}$ |
| Poloměr setrvačnosti k ose z | $i_z = 28,87\text{ mm}$ |
| Plocha prvku | $A = 12\,000\text{ mm}^2$ |
| Součinitel k_m | $k_m = 0,7$ |
| Průřezový modul k se y | $W_y = 24,0 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |
| Průřezový modul k se z | $W_z = 20,0 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |



Obr. 3.25 Geometrie výměny

• **Kombinace tlaku a ohybu**

Pro ohyb kolem obou os musí být zároveň splněny podmínky:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Tab. 3.25 Výpočet součinitele vzpěrnosti u výměny

| $L_{cr,y}$ | $L_{cr,z}$ | λ_y | λ_z | $\lambda_{rel,y}$ | $\lambda_{rel,z}$ | k_y | k_z | $k_{c,y}$ | $k_{c,z}$ |
|------------|------------|-------------|-------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-----------|-----------|
| [mm] | [mm] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] | [-] |
| 2000 | 2000 | 57,74 | 69,28 | 0,98 | 1,18 | 1,05 | 1,28 | 0,70 | 0,56 |

Pevnost dřeva v tlaku $f_{c,0,d}$ 14,54 MPa

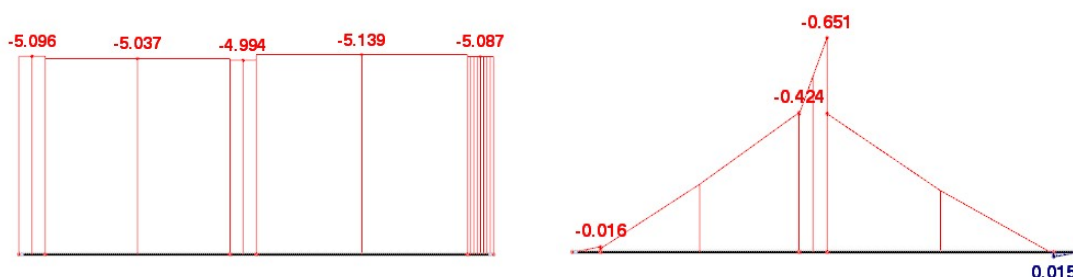
Pevnost dřeva v ohybu $f_{m,d}$ 16,62 MPa

Tab. 3.26 Posouzení výměny na kombinaci tlaku a ohybu

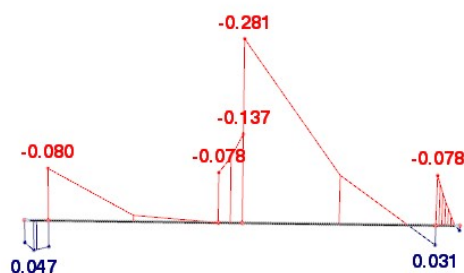
| | | | | | | |
|-----------------------|--------------|------------|------------------|-----------|------------|------------|
| $N_{c,max}$ (KV7) | $N_{c,max}$ | -5,139 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,428 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,odp.}$ | -0,332 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 1,383 MPa | 0,16 < 1,0 | 0,16 < 1,0 |
| | $M_{z,odp.}$ | -0,160 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,800 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| $M_{y,max}$ (KV10) | $N_{c,odp}$ | -4,501 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,375 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,max}$ | -0,651 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 2,712 MPa | 0,22 < 1,0 | 0,19 < 1,0 |
| | $M_{z,odp.}$ | -0,106 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,530 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

| | | | | | | |
|-----------------------|--------------|-------------------|------------------|-----------|--------------|--------------|
| $M_{z,max}$ (KV10) | $N_{c,odp}$ | -4,656 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,388 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | $M_{y,odp}$ | -0,420 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 1,750 MPa | $0,20 < 1,0$ | $0,21 < 1,0$ |
| | $M_{z,max.}$ | -0,281 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 1,405 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

Maximální využití výměny bylo programem vyhodnoceno jako **22 %** a to pro kombinaci dvojsoého ohybu a tlaku.



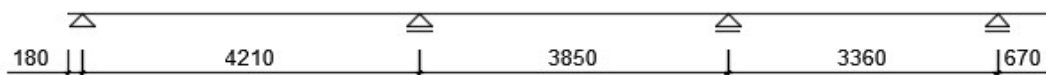
Obr. 3.26 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y na výměně



Obr. 3.27 Průběh extrémních ohybových momentů okolo osy z na výměně

DŘEVĚNÁ VAZNICE

| | |
|------------------------|-------------------------------------|
| Průřez | 120/200 |
| Plocha prvku | $A = 24\,000\text{ mm}^2$ |
| Součinitel k_m | $k_m = 0,7$ |
| Průřezový modul k se y | $W_y = 80,0 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |
| Průřezový modul k se z | $W_z = 48,0 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |



Obr. 3.28 Geometrie dřevěné vaznice

• **Kombinace tlaku a ohybu**

Musí být zároveň splněny podmínky:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

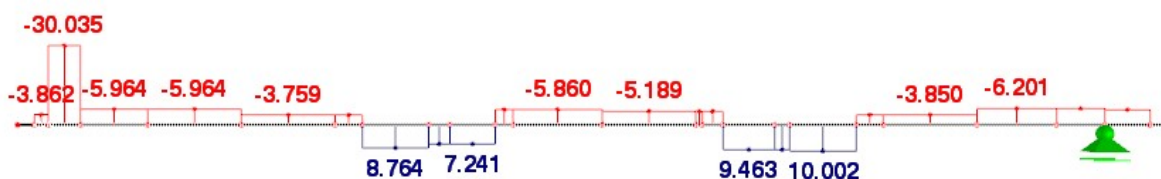
Pevnost dřeva v tlaku $f_{c,0,d}$ 14,54 MPa

Pevnost dřeva v ohybu $f_{m,d}$ 16,62 MPa

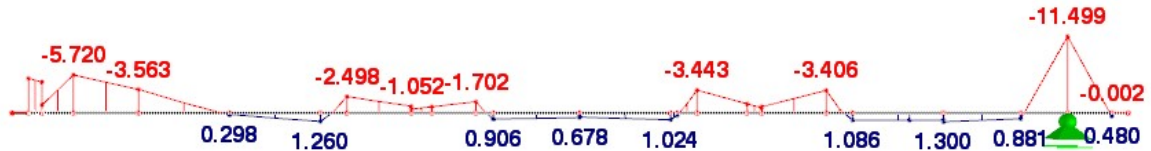
Tab. 3.27 Posouzení dřevěné vaznice na kombinaci tlaku a ohybu

| | | | | | | |
|------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------|------------|----------------------|
| N _{c,max} (KV8) | N _{c,max} | -30,035 kN | σ _{c,0,d} | 1,251 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | M _{y,odp.} | -5,262 kNm | σ _{m,y,d} | 6,578 MPa | 0,29 < 1,0 | 0,41 < 1,0 |
| | M _{z,odp.} | 0,030 kNm | σ _{m,z,d} | 0,063 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| M _{y,max} (KV20) | N _{c,odp} | -5,730 kN | σ _{c,0,d} | 0,239 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | M _{y,max} | -11,499 kNm | σ _{m,y,d} | 14,374 MPa | 0,62 < 1,0 | 0,87 < 1,0 |
| | M _{z,odp.} | -0,110 kNm | σ _{m,z,d} | 0,229 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |
| M _{z,max} (KV45) | N _{c,odp} | -4,281 kN | σ _{c,0,d} | 0,178 MPa | Podmínka 1 | Podmínka 2 |
| | M _{y,odp} | -8,592 kNm | σ _{m,y,d} | 10,740 MPa | 0,58 < 1,0 | 0,74 < 1,0 |
| | M _{z,max.} | 1,045 kNm | σ _{m,z,d} | 2,177 MPa | VYHOVÍ | VYHOVÍ |

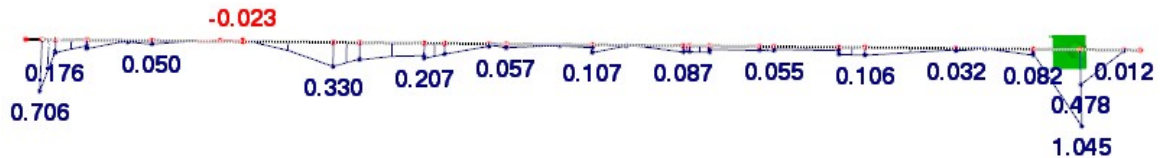
Maximální využití vaznice bylo programem vyhodnoceno jako **95 %** a to pro kombinaci dvojsoého ohybu a tlaku.



Obr. 3.29 Průběh extrémních normálových sil na dřevěné vaznici

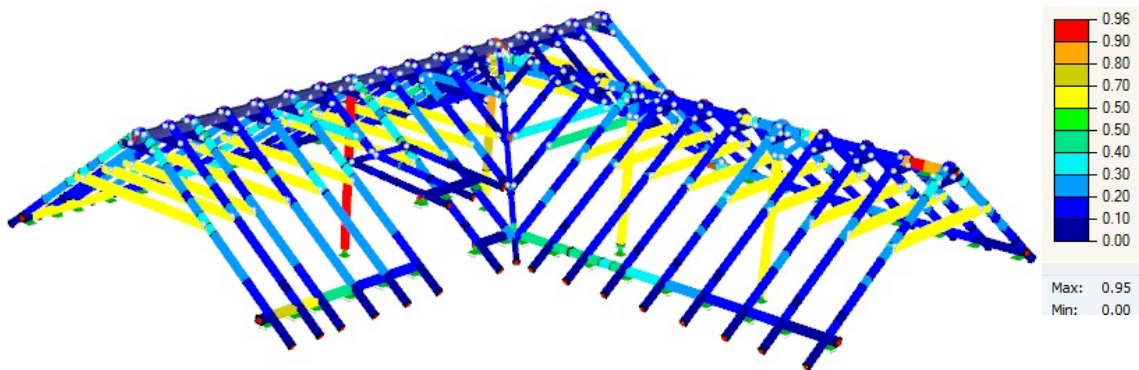


Obr. 3.30 Průběh extrémních ohybových momentů okolo osy y



Obr. 3.31 Průběh extrémních ohybových momentů okolo osy z

SHRNUTÍ – VYUŽITÍ VŠECH NOSNÝCH PRVKŮ KONSTRUKCE



Obr. 3.32 Využití všech nosných prvků konstrukce

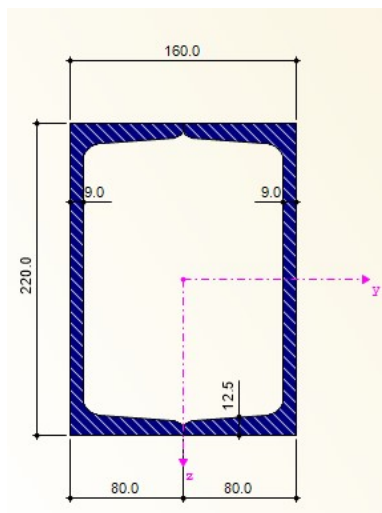
Z obrázku vyplývá, že nejvíce namáhanými prvky jsou sloupky a vaznice v místě nadpodporového momentu od štítové stěny. Naopak poměrně málo (ani ne na 50%) jsou využity krokve, nicméně zmenšení průřezu by nebylo vhodné z důvodu nadměrného průhybu, který by tak vznikl na jejich převislých koncích. Žádný prvek tedy není využit nad rámec své únosnosti.¹⁷

¹⁷ Ztužidla jsou v náhledu vypnutá z důvodu lepší viditelnosti a přehlednosti nosných prvků.

3.5 Posouzení ocelového prvku

OCELOVÁ VAZNICE

| | |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| Průřez | 2U 220 |
| Plocha prvku | $A = 7\,480 \text{ mm}^2$ |
| Elastický průřezový modul k se y | $W_y = 48,9 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$ |
| Elastický průřezový modul k se z | $W_z = 37,0 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$ |



Obr. 3.33 Průřez ocelové vaznice

- Ohyb a osová síla**

$$\sigma_{x,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{W_y} + \frac{M_{z,Ed}}{W_z}$$

Charakteristická mez kluzu f_y235 MPa

Tab. 3.28 Posouzení ocelové vaznice na kombinaci tlaku a ohybu

| | | | | | |
|------------------------------|---------------------|------------|--------------------|------------|------------|
| N _{c,max} (KV16) | N _{c,max} | -12,403 kN | σ _{c,0,d} | 1,658 MPa | Podmínka |
| | M _{y,odp.} | 31,833 kNm | σ _{m,y,d} | 65,086 MPa | 0,30 < 1,0 |
| | M _{z,odp.} | 1,211 kNm | σ _{m,z,d} | 3,259 MPa | VYHOVÍ |

| | | | | | |
|-----------------------|--------------|--------------------|------------------|-------------|----------------------|
| $M_{y,max}$ (KV8) | $N_{c,odp}$ | -2,867 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,383 MPa | Podmínka |
| | $M_{y,max}$ | -51,430 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 105,154 MPa | 0,45 < 1,0 |
| | $M_{z,odp.}$ | 0,197 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,532 MPa | VYHOVÍ |
| $M_{z,max}$ (KV16) | $N_{c,odp}$ | -5,282 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,706 MPa | Podmínka |
| | $M_{y,odp}$ | -15,384 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 31,452 MPa | 0,21 < 1,0 |
| | $M_{z,max.}$ | 6,209 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 16,766 MPa | VYHOVÍ |

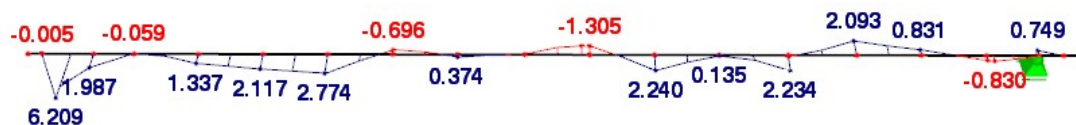
Maximální využití vaznice bylo programem vyhodnoceno jako **45 %** a to pro kombinaci dvojsového ohybu a tlaku.



Obr. 3.34 Průběh extrémních normálových sil na ocelové vaznici



Obr. 3.35 Průběh extrémních ohybových momentů okolo osy y



Obr. 3.36 Průběh extrémních ohybových momentů okolo osy z

4. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Účinky zatížení na konstrukci nás nezajímají pouze z hlediska únosnosti konstrukce a jejích jednotlivých prvků ale také z hlediska deformace. Konstrukce jako taková může totiž zatížení přenést, aniž by došlo k vyčerpání únosnosti prvků, ale pokud budou překročeny její povolené deformace, může dojít k omezení a narušení provozu v dané konstrukci a také poškození dalších materiálů. Jedná se např. o povrchové úpravy podhledů, příček atd. Deformace mimo jiné narušují i celkovou estetiku konstrukcí a omezují pohodu jejich uživatelů.

Jednotlivé prvky střešní konstrukce budu posuzovat na limitní průhyb. Průhyb na konstrukci nastává ve dvou různých časech. Nejdříve ihned po zatížení konstrukce dochází k průhybu okamžitému w_{inst} . Ten je však po čase nahrazen konečným průhybem w_{fin} , tedy takovým, ve kterém již došlo k dotvarování.

U dřevěných prvků se průhyb dotvarováním stanoví následujícím výpočtem¹⁸.

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + w_{fin,Qi}$$

$$w_{fin,G} = w_{inst,G}(1 + k_{def})$$

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1}(1 + \Psi_{2,1}k_{def})$$

$$w_{fin,Qi} = w_{inst,Qj}(\Psi_{0,i} + \Psi_{2,i}k_{def})$$

| | | |
|-----|--|--|
| kde | $w_{inst,G}$, $w_{inst,Q1}$, $w_{inst,Qi}$ | - okamžité deformace pro příslušné zatížení |
| | $\Psi_{2,1}$, $\Psi_{2,i}$ | - součinitele pro kvazistálou hodnotu proměnných zatížení ($\Psi_2 = 0$) |
| | $\Psi_{0,i}$ | - součinitele pro kombinační hodnotu proměnných zatížení ($\Psi_{0,snih} = 0,5$; $\Psi_{0,vitr} = 0,6$) |
| | k_{def} | - součinitel dotvarování ($k_{def} = 0,8$) |

V mém případě je tento výpočet (jeho součinitele) zahrnut v kvazistálé kombinaci pro MSP. Okamžitý průhyb tedy zjistím z kombinace charakteristické a dotvarování z kombinace kvazistálé. Doporučené hodnoty mezních průhybů jsou pro prostý nosník 1/300 (okamžitý průhyb) a 1/200 (průhyb konečný). Pro převislé konce použiji podmínky pro konzolu tj. 1/150 (okamžitý průhyb) a 1/100 (konečný průhyb).

¹⁸ [6] 2.2.3

4.1 Posouzení dřevěných prvků

ÚŽLABNÍ KROKEY

Prut se dělí na pole mezi podporami a převislý konec. Průhyb v místě podpory je nulový a prut proto posoudím v těchto dvou místech zvlášť.

- Okamžitý průhyb v poli

| | | |
|-------------|-----|----------|
| délka prvku | L | 5 976 mm |
|-------------|-----|----------|

| | | |
|----------------|--|---------|
| limitní průhyb | $w_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{5976}{300} =$ | 19,9 mm |
|----------------|--|---------|

| | | |
|--------|------------|--------|
| průhyb | w_{inst} | 2,0 mm |
|--------|------------|--------|

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$$2,0 \text{ mm} \leq 19,9 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Okamžitý průhyb na převislém konci

| | | |
|-------------|-----|----------|
| délka prvku | L | 1 100 mm |
|-------------|-----|----------|

| | | |
|----------------|--|--------|
| limitní průhyb | $w_{lim} = \frac{L}{150} = \frac{1100}{150} =$ | 7,3 mm |
|----------------|--|--------|

| | | |
|--------|------------|--------|
| průhyb | w_{inst} | 1,6 mm |
|--------|------------|--------|

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$$1,6 \text{ mm} \leq 7,3 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Konečný průhyb v poli

| | | |
|-------------|-----|----------|
| délka prvku | L | 5 976 mm |
|-------------|-----|----------|

| | | |
|----------------|--|---------|
| limitní průhyb | $w_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{5976}{200} =$ | 29,9 mm |
|----------------|--|---------|

| | | |
|--------|-----------|--------|
| průhyb | w_{fin} | 2,2 mm |
|--------|-----------|--------|

$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$$2,2 \text{ mm} \leq 29,9 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Konečný průhyb na převislém konci

délka prvku L 1 100 mm

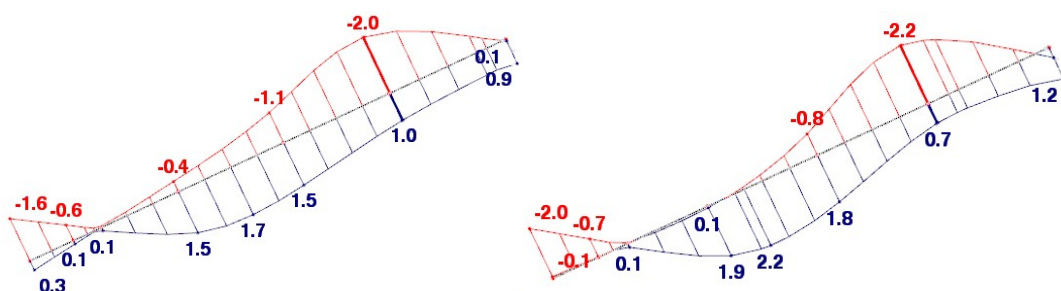
limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{100} = \frac{1100}{100} = 11,0$ mm

průhyb w_{fin} 2,0 mm

$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$$2,0 \text{ mm} \leq 11,0 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



Obr. 4.1 Lokální deformace uz úžlabní krokve v charakteristické a kvazistálé kombinaci

KROKEV V ČÁSTI A

- Okamžitý průhyb v poli

délka prvku L 4 973 mm

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{4973}{300} = 16,6$ mm

průhyb w_{inst} 10,0 mm

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$$10,0 \text{ mm} \leq 16,6 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Okamžitý průhyb na převislém konci

délka prvku L 820 mm

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{150} = \frac{820}{150} = 5,5$ mm

průhyb w_{inst} 5,4 mm

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$$5,4 \text{ mm} \leq 5,5 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Konečný průhyb v poli

délka prvku L 4 973 mm

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{4973}{200} =$ 24,9 mm

průhyb w_{fin} 13,6 mm

$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$$13,6 \text{ mm} \leq 24,9 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Konečný průhyb na převislém konci

délka prvku L 820 mm

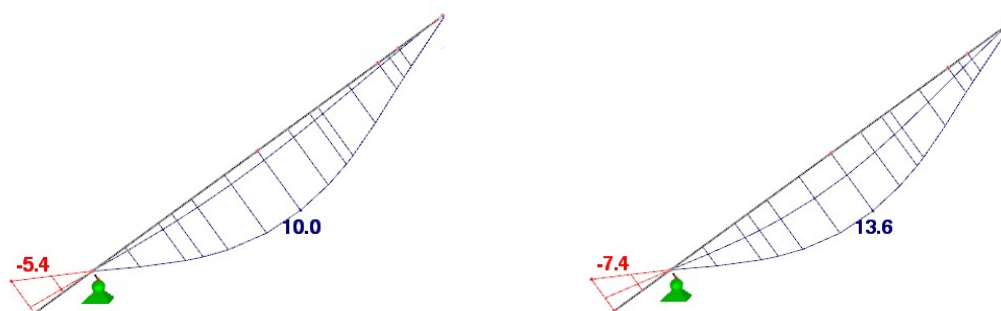
limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{100} = \frac{820}{100} =$ 8,2 mm

průhyb w_{fin} 7,4 mm

$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$$7,4 \text{ mm} \leq 8,2 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



Obr. 4.2 Lokální deformace uz krokve A v charakteristické a kvazistálé kombinaci

KLEŠTINY V ČÁSTI A

- Okamžitý průhyb

délka prvku L 4 354 mm

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{4354}{300} =$ 14,5 mm

průhyb $w_{inst} = 6,9 - 0,6 =$ 6,3 mm

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$$6,3 \text{ mm} \leq 14,5 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Konečný průhyb

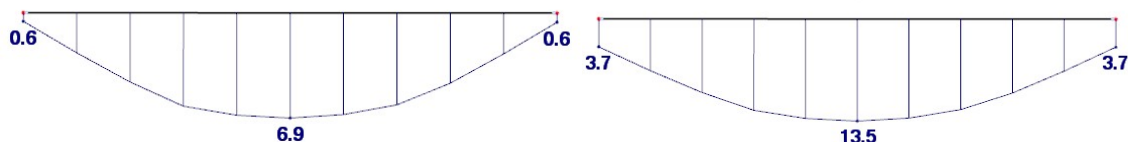
$$\text{limitní průhyb} \quad w_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{4354}{200} = 21,8 \text{ mm}$$

$$\text{průhyb} \quad w_{fin} = 13,5 - 3,7 = 9,8 \text{ mm}$$

$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$$9,8 \text{ mm} \leq 21,8 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



Obr. 4.3 Lokální deformace uz kleštiny A v charakteristické a kvazistálé kombinaci

SLOUPEK V ČÁSTI A

Ve sloupku v mém případě vzniká větší posun v ose y lokálního souřadného systému než v ose z a prvek proto posoudím na tuto hodnotu.

- Okamžitý průhyb

$$\text{délka prvku} \quad L \quad 4\,110 \text{ mm}$$

$$\text{limitní průhyb} \quad w_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{4110}{300} = 13,7 \text{ mm}$$

$$\text{průhyb} \quad w_{inst} \quad 1,3 \text{ mm}$$

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$$1,3 \text{ mm} \leq 13,7 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Konečný průhyb

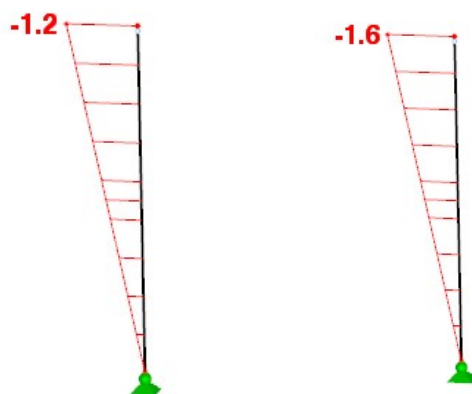
$$\text{limitní průhyb} \quad w_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{4110}{200} = 20,6 \text{ mm}$$

$$\text{průhyb} \quad w_{fin} \quad 1,6 \text{ mm}$$

$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$$1,6 \text{ mm} \leq 20,6 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



Obr. 4.4 Lokální deformace u sloupku A v charakteristické a kvazistálé kombinaci

KROKEV V ČÁSTI B

- Okamžitý průhyb v poli

délka prvku L 4727 mm

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{4727}{300} =$ 15,8 mm

průhyb w_{inst} 6,2 mm

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$$6,2 \text{ mm} \leq 15,8 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Okamžitý průhyb na převislém konci

délka prvku L 820 mm

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{150} = \frac{820}{150} =$ 5,5 mm

průhyb w_{inst} 3,2 mm

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$$3,2 \text{ mm} \leq 5,5 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Konečný průhyb v poli

délka prvku L 4727 mm

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{4727}{200} =$ 23,6 mm

průhyb w_{fi} 6,6 mm

$$w_{fi} \leq w_{lim}$$

$$6,6 \text{ mm} \leq 23,6 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Konečný průhyb na převislém konci

délka prvku L 820 mm

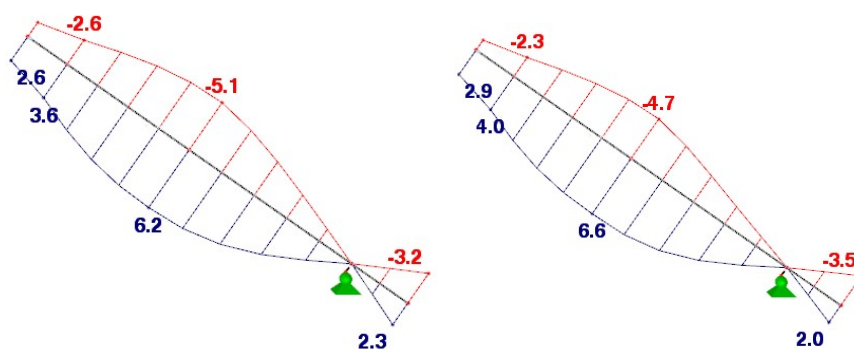
limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{100} = \frac{820}{100} =$ 8,2 mm

průhyb w_{fin} 3,5 mm

$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$$3,5 \text{ mm} \leq 8,2 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



Obr. 4.5 Lokální deformace uz krokve B v charakteristické a kvazistálé kombinaci

KLEŠTINY V ČÁSTI B

- Okamžitý průhyb

délka prvku L 3857 mm

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{3857}{300} =$ 12,9 mm

průhyb $w_{inst} = 3,6 + 2,2 =$ 5,8 mm

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$$5,8 \text{ mm} \leq 12,9 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Konečný průhyb

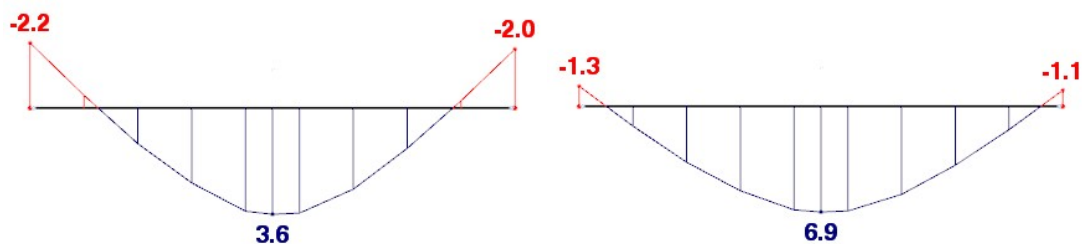
limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{3857}{200} =$ 19,3 mm

průhyb $w_{fin} = 6,9 + 1,3 =$ 8,2 mm

$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$$8,2 \text{ mm} \leq 19,3 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



Obr. 4.6 Lokální deformace uz kleštiny B v charakteristické a kvazistálé kombinaci

SLOUPEK V ČÁSTI B

- Okamžitý průhyb

délka prvku L 3 900 mm

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{3900}{300} =$ 13,0 mm

průhyb w_{inst} 5,0 mm

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$$5,0 \text{ mm} \leq 13,0 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Konečný průhyb

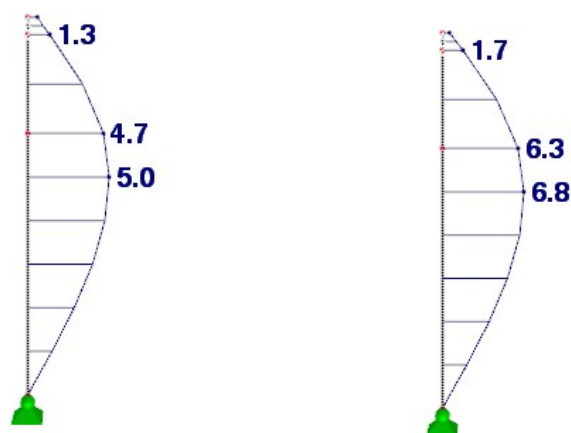
limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{3900}{200} =$ 19,5 mm

průhyb w_{fin} 6,8 mm

$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$$6,8 \text{ mm} \leq 19,5 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



Obr. 4.7 Lokální průhyb uy sloupku v části B v charakteristické a kvazistálé kombinaci

PÁSKY

- Okamžitý průhyb

délka prvku L 1 000 mm

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{1000}{300} = 3,3$ mm

průhyb $w_{inst} = 1,3 - 0,3 = 1,0$ mm

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$$1,0 \text{ mm} \leq 3,3 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Konečný průhyb

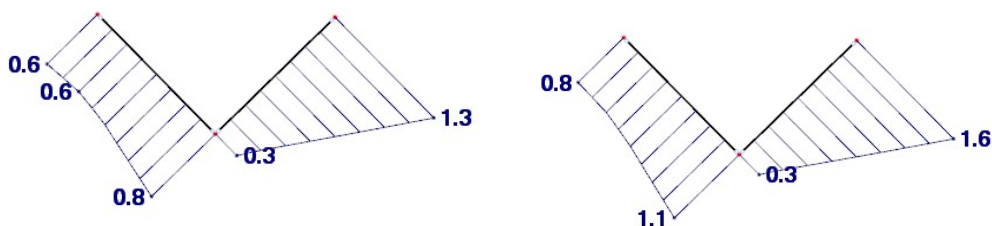
limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{1000}{200} = 5,0$ mm

průhyb $w_{fin} = 1,6 - 0,3 = 1,3$ mm

$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$$1,3 \text{ mm} \leq 5,0 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



Obr. 4.8 Lokální deformace uz pásků v charakteristické a kvazistálé kombinaci

KROKEV V ČÁSTI C

- Okamžitý průhyb v poli

délka prvku L 2 220 mm

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{2220}{300} = 7,4$ mm

průhyb $w_{inst} = 8,1$ mm

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$$8,1 \text{ mm} \geq 7,4 \text{ mm}$$

NEVYHOVÍ

- Okamžitý průhyb na převislém konci

délka prvku L 750 mm

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{150} = \frac{750}{150} =$ 5,0 mm

průhyb w_{inst} 3,2 mm

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$$3,2 \text{ mm} \leq 5,0 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Konečný průhyb v poli

délka prvku L 2 220 mm

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{2220}{200} =$ 11,1 mm

průhyb w_{fin} 9,6 mm

$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$$9,6 \text{ mm} \leq 11,1 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Konečný průhyb na převislém konci

délka prvku L 750 mm

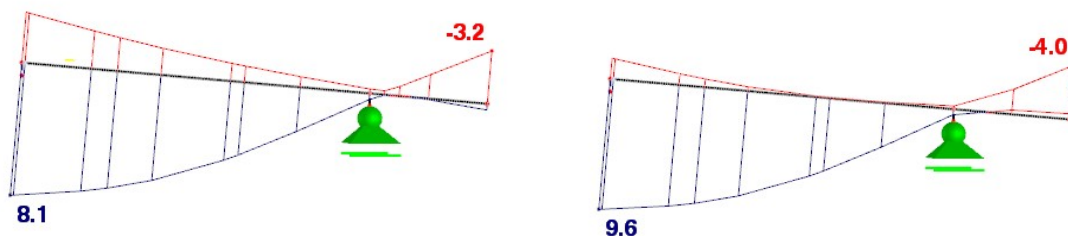
limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{100} = \frac{750}{100} =$ 7,5 mm

průhyb w_{fin} 4,0 mm

$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$$4,0 \text{ mm} \leq 7,5 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



Obr. 4.9 Lokální deformace uz krokve v části C pro charakteristickou a kvazistálou kombinaci

Posouzení této krokve je sice vyhodnoceno jako nevyhovující, z obrázku však vyplývá, že se nejedná o deformaci prutu nýbrž jeho natočení. Krokev je podpírána výměnou, která poklesne vlivem průhybu krokve v části A. Prvek je však uložen na podpoře a nemůže proto poklesnout taktéž celý. Z toho důvodu dochází k jeho natočení. Jelikož nejsem schopná sama určit hodnotu deformace (vychýlení prutu vůči jeho ose), přikloním se v tomto případě k výsledku z přídatného modulu RF-TIMBER Pro. Ten vyhodnotil využití této krokve na mezní stav použitelnosti jako 20% v charakteristické kombinaci (okamžitý průhyb) a 21% v kombinaci kvazistálé (dotvarování). Posudek z přídatného modulu viz Příloha č. 3.

VÝMĚNA

- Okamžitý průhyb

délka prvku L 2 000 mm

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{2000}{300} = 6,7$ mm

průhyb $w_{inst} = 10,6 - 5,6 = 5,0$ mm

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$$5,0 \text{ mm} \leq 6,7 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Konečný průhyb

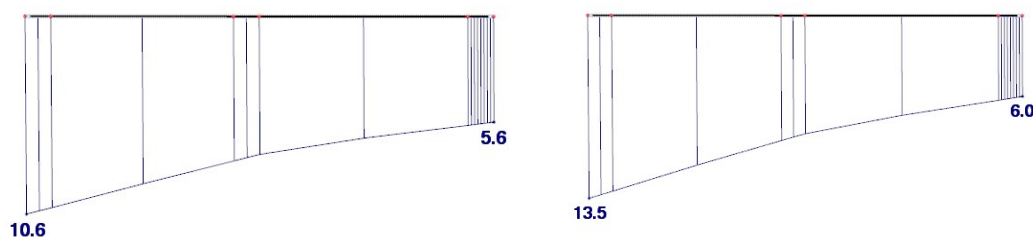
limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{2000}{200} = 10,0$ mm

průhyb $w_{fin} = 13,5 - 6,0 = 7,5$ mm

$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$$7,5 \text{ mm} \leq 10,0 \text{ mm}$$

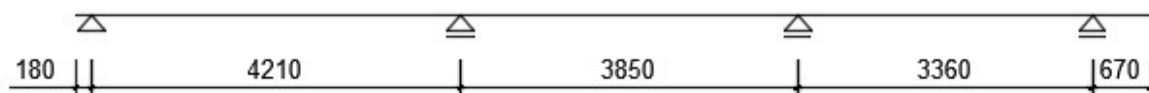
VYHOVÍ



Obr. 4.10 Lokální deformace uz výměny v charakteristické a kvazistálé kombinaci

DŘEVĚNÁ VAZNICE

Dřevěná vaznice (v části B) se skládá ze tří polí a dvou převislých konců. Největší průhyb vzniká ve třetím poli, které je ze všech polí i nejmenší. Posouzení tedy provedu na něm a na delším ze dvou převislých konců.



Obr. 4.11 Geometrie dřevěné vaznice

- Okamžitý průhyb v poli

délka prvku L 3 360 mm

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{300} = \frac{3360}{300} =$ 11,2 mm

průhyb w_{inst} 2,3 mm

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$$2,3 \text{ mm} \leq 11,2 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Okamžitý průhyb na převislém konci

délka prvku L 670 mm

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{150} = \frac{670}{150} =$ 4,5 mm

průhyb w_{inst} 1,9 mm

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$$1,9 \text{ mm} \leq 4,5 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Konečný průhyb v poli

délka prvku L 3 360 mm

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{3360}{200} =$ 16,8 mm

průhyb w_{fin} 3,3 mm

$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$$3,3 \text{ mm} \leq 16,8 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Konečný průhyb na převislém konci

délka prvku L 670 mm

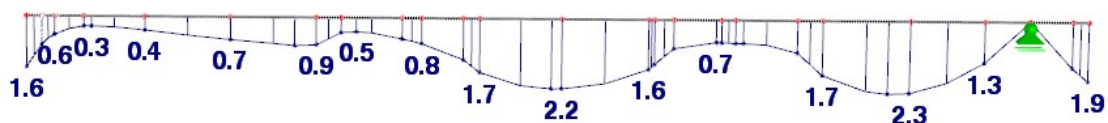
limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{100} = \frac{670}{100} = 6,7$ mm

průhyb w_{fin} 2,7 mm

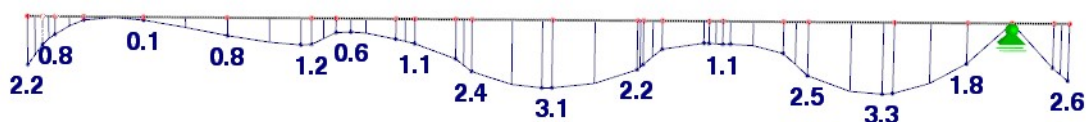
$$w_{fin} \leq w_{lim}$$

$$2,7 \text{ mm} \leq 6,7 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



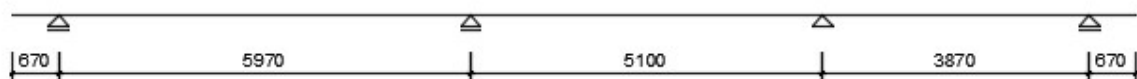
Obr. 4.12 Lokální deformace uz dřevěné vaznice v charakteristické kombinaci



Obr. 4.13 Lokální deformace uz dřevěné vaznice v kvazistálé kombinaci

4.2 Posouzení ocelového prvku

OCELOVÁ VAZNICE



Obr. 4.14 Geometrie ocelové vaznice

U ocelových prvků na rozdíl od dřeva nedochází k dotvarování (zvětšení průhybu v čase). Budu zde tedy průhyb posuzovat pouze na charakteristickou kombinaci zatížení. Mezní hodnota průhybu pro vaznice je podle normy ČSN EN 1990 L/200, kde L je rozpětí nosníku. Pro konzoly je nutné uvažovat L jako dvojnásobek délky. Pro převislý konec vaznice použiji podmínku pro konzolu¹⁹.

¹⁹ [5] 7.2.1(1)

- Průhyb v poli

délka prvku L 5 970 mm

limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{5970}{200} =$ 29,9 mm

průhyb w_{inst} 7,1 mm

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$$7,1 \text{ mm} \leq 29,9 \text{ mm}$$

VYHOVÍ

- Průhyb na převislém konci

délka prvku L 670 mm

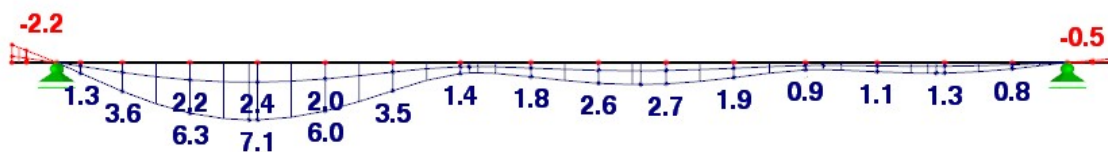
limitní průhyb $w_{lim} = \frac{L}{200} = \frac{2 \cdot 670}{200} =$ 6,7 mm

průhyb w_{inst} 2,2 mm

$$w_{inst} \leq w_{lim}$$

$$2,2 \text{ mm} \leq 6,7 \text{ mm}$$

VYHOVÍ



Obr. 4.15 Lokální průhyb uz ocelové vaznice v charakteristické kombinaci

5. ŘEŠENÍ KONSTRUKCE V MÍSTECH SPOJŮ

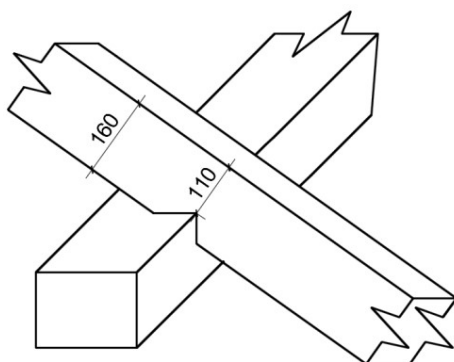
5.1 Posouzení krokve v osedlání

Všechny krokve jsou s pozednicí spojeny tzv. osedláním. Jedná se o výřez krokve do max. jedné třetiny její výšky a osazení na pozednici v kombinaci se spojovacím prostředkem. Jelikož pozednice tvoří podporu, vzniká v tomto místě záporný ohybový moment. Pokud se v krovu vyskytují středové vaznice a provádí se na nich též osedlání, bývá toto místo na krokvi kritické, neboť zde vzniká záporný ohybový moment z celé krokve největší a musí jej přenést oslabený průřez. V mém případě vzniká největší moment v místě kleštin, kde je průřez s plnou plochou. V místě pozednice vzniká moment pouze od převislého konce (pokud by zde nebyl, byl by moment nulový).

Osedlání budu tedy uvažovat právě do jedné třetiny výšky a provedu posudek vždy pro jednu krokev z každé části konstrukce.

OSLABENÁ KROKEV V ČÁSTI A

| | |
|------------------------|-------------------------------------|
| Průřez | 120/110 |
| Plocha prvku | $A = 13\,200\text{ mm}^2$ |
| Průřezový modul k se y | $W_y = 24,2 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |
| Průřezový modul k se z | $W_z = 28,8 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |



Obr. 5.1 Detail osedlání krokve v části A

• **Kombinace tlaku a ohybu**

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

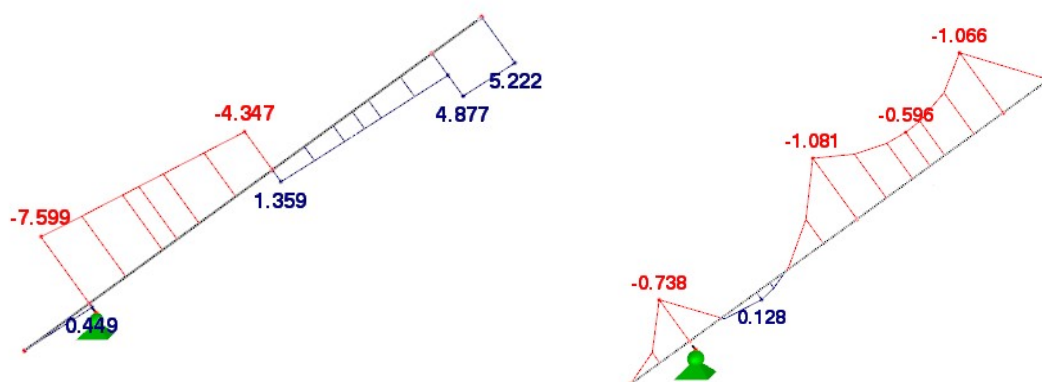
Pevnost dřeva v tlaku $f_{c,0,d}$ 14,54 MPa

Pevnost dřeva v ohybu $f_{m,d}$ 16,62 MPa

Jelikož ohybový moment v místě osedlání je na všech krokách stejný, zvolila jsem pro posouzení krokve, na kterých se v tomto místě vyskytuje největší záporná nebo kladná normálová síla. Obrázek 5.2 tedy neukazuje vykreslení nejhorších záporných momentů na krokách ale vykreslení momentů na krokvi s nejhorší silou. Moment kolem osy z je v tomto místě nulový.

Tab. 5.1 Posouzení oslabené krokve v části A na kombinaci tlaku a ohybu

| | | | | | |
|-----------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------|
| N _{c,max} (KV8) | N _{c,max} | -7,599 kN | σ _{c,0,d} | 0,576 MPa | Podmínka |
| | M _{y,odp.} | -0,550 kNm | σ _{m,y,d} | 2,273 MPa | 0,14 < 1,0 |
| | M _{z,odp.} | 0,0 kNm | σ _{m,z,d} | 0,0 MPa | VYHOVÍ |
| M _{y,max} (KV6) | N _{c,odp} | -7,176 kN | σ _{c,0,d} | 0,544 MPa | Podmínka |
| | M _{y,max} | -0,738 kNm | σ _{m,y,d} | 3,050 MPa | 0,18 < 1,0 |
| | M _{z,odp.} | 0,0 kNm | σ _{m,z,d} | 0,0MPa | VYHOVÍ |



Obr. 5.2 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y na krokvi v části A namáhané tlakem

- Kombinace tahu a ohybu**

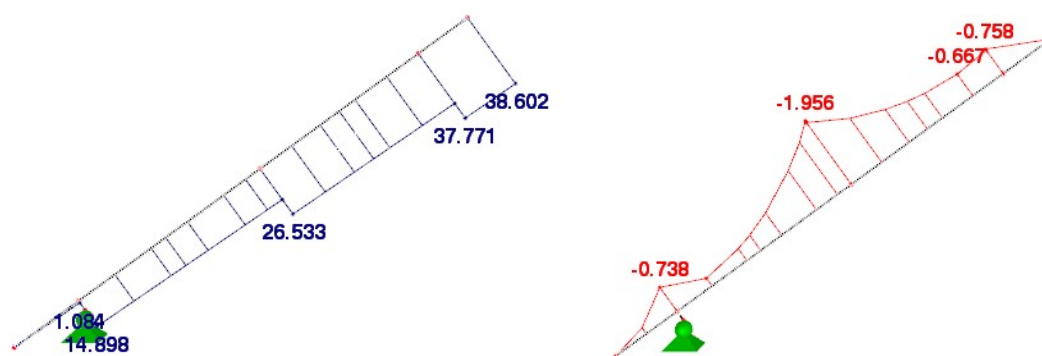
Musí být zároveň splněny podmínky:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

Pevnost dřeva v tahu $f_{t,0,d}$ 9,69 MPa

Tab. 5.2 Posouzení oslabené krokve v části A na kombinaci tahu a ohybu

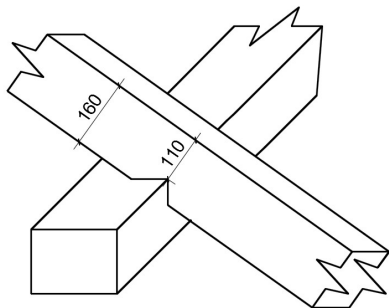
| | | | | | |
|-----------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------|
| N _{t,max} (KV8) | N _{t,max} | 14,898 kN | σ _{t,0,d} | 1,128 MPa | Podmínka |
| | M _{y,odp.} | -0,550 kNm | σ _{m,y,d} | 2,273 MPa | 0,25 < 1,0 |
| | M _{z,odp.} | 0,0 kNm | σ _{m,z,d} | 0,0 MPa | VYHOVÍ |
| M _{y,max} (KV6) | N _{t,odp.} | 14,677 kN | σ _{t,0,d} | 1,112 MPa | Podmínka |
| | M _{y,max} | -0,738 kNm | σ _{m,y,d} | 3,050 MPa | 0,30 < 1,0 |
| | M _{z,odp.} | 0,0 kNm | σ _{m,z,d} | 0,0 MPa | VYHOVÍ |



Obr. 5.3 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y na krokvi v části A namáhané tahem

OSLABENÁ KROKEV V ČÁSTI B

| | |
|------------------------|--------------------------------------|
| Průřez | 120/110 |
| Plocha prvku | $A = 13\,200 \text{ mm}^2$ |
| Průřezový modul k se y | $W_y = 24,2 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$ |
| Průřezový modul k se z | $W_z = 28,8 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$ |



Obr. 5.4 Detail osedlání krokve v části B

Na rozdíl od posudku krokve neoslabené, kdy jsem z důvodu velkých tahových sil posuzovala pouze kombinaci tahu a ohybu, posoudím oslabení jak na tah tak i tlak.

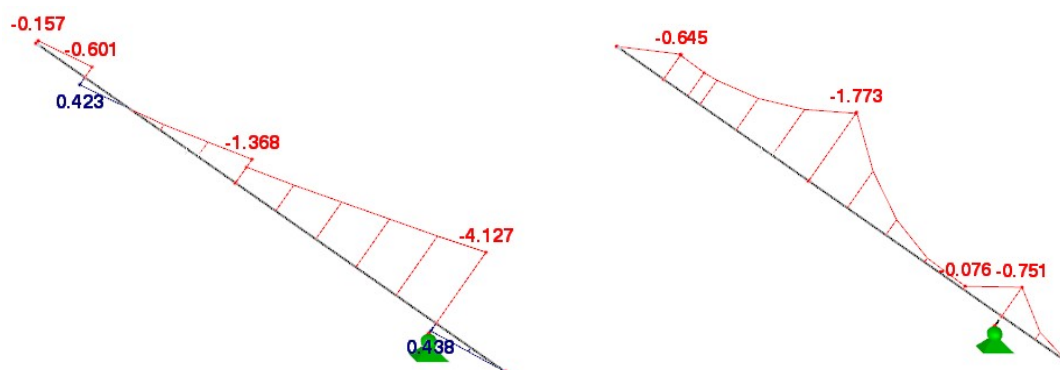
- Kombinace tlaku a ohybu**

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

| | | |
|-----------------------|-------------------|-----------|
| Pevnost dřeva v tlaku | $f_{c,0,d}$ | 14,54 MPa |
| Pevnost dřeva v ohybu | $f_{m,d}$ | 16,62 MPa |

Tab. 5.3 Posouzení oslabené krokve v části B na kombinaci tlaku a ohybu

| | | | | | |
|------------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------|
| N _{c,max} (KV10) | N _{c,max} | -4,127 kN | σ _{c,0,d} | 0,313 MPa | Podmínka |
| | M _{y,odp.} | -0,562 kNm | σ _{m,y,d} | 2,322 MPa | 0,14 < 1,0 |
| | M _{z,odp.} | 0,0 kNm | σ _{m,z,d} | 0,0 MPa | VYHOVÍ |
| M _{y,max} (KV12) | N _{c,odp} | -3,645 kN | σ _{c,0,d} | 0,544 MPa | Podmínka |
| | M _{y,max} | -0,751 kNm | σ _{m,y,d} | 3,103 MPa | 0,19 < 1,0 |
| | M _{z,odp.} | 0,0 kNm | σ _{m,z,d} | 0,0MPa | VYHOVÍ |



Obr. 5.5 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y na krokvi v části B namáhané tlakem

- Kombinace tahu a ohybu**

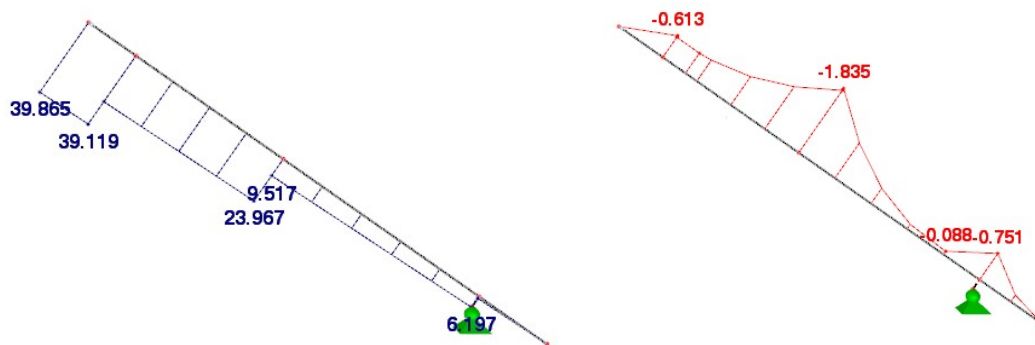
Musí být zároveň splněny podmínky:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

Pevnost dřeva v tahu $f_{t,0,d}$ 9,69 MPa

Tab. 5.4 Posouzení oslabené krokve v části B na kombinaci tahu a ohybu

| | | | | | |
|-----------------------|--------------|-------------------|------------------|-----------|----------------------|
| $N_{t,max}$ (KV20) | $N_{t,max}$ | 6,197 kN | $\sigma_{t,0,d}$ | 0,469 MPa | Podmínka |
| | $M_{y,odp.}$ | -0,695 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 2,872 MPa | 0,22 < 1,0 |
| | $M_{z,odp.}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,0 MPa | VYHOVÍ |
| $M_{y,max}$ (KV12) | $N_{t,odp.}$ | 6,021 kN | $\sigma_{t,0,d}$ | 0,456 MPa | Podmínka |
| | $M_{y,max}$ | -0,751 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 3,103 MPa | 0,23 < 1,0 |
| | $M_{z,odp.}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,0 MPa | VYHOVÍ |



Obr. 5.6 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y na krokvi v části B namáhané tahem

OSLABENÁ KROKEV V ČÁSTI C

| | |
|------------------------|-------------------------------------|
| Průřez | 100/100 |
| Plocha prvku | $A = 10\,000\text{ mm}^2$ |
| Průřezový modul k se y | $W_y = 16,7 \cdot 10^4\text{ mm}^3$ |

Na rozdíl od posudku krokve neoslabené, kdy jsem z důvodu velkých tahových sil posuzovala pouze kombinaci tahu a ohybu, posoudím oslabení jak na tah tak i tlak.

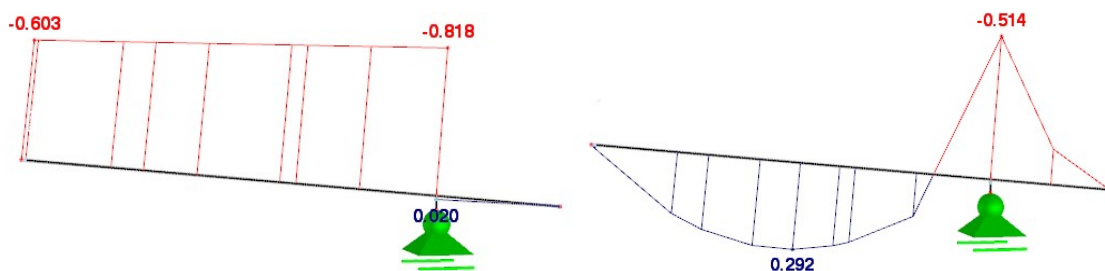
- Kombinace tlaku a ohybu**

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

| | | |
|-----------------------|-------------------|-----------|
| Pevnost dřeva v tlaku | $f_{c,0,d}$ | 14,54 MPa |
| Pevnost dřeva v ohybu | $f_{m,d}$ | 16,62 MPa |

Tab. 5.5 Posouzení oslabené krokve v části B na kombinaci tlaku a ohybu

| | | | | | |
|-----------------------|--------------|-------------------|------------------|-----------|----------------------|
| $N_{c,max}$ (KV41) | $N_{c,max}$ | -0,818 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,082 MPa | Podmínka |
| | $M_{y,odp.}$ | -0,153 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 0,918 MPa | $0,06 < 1,0$ |
| | $M_{z,odp.}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,0 MPa | VYHOVÍ |
| $M_{y,max}$ (KV4) | $N_{c,odp}$ | -0,186 kN | $\sigma_{c,0,d}$ | 0,019 MPa | Podmínka |
| | $M_{y,max}$ | -0,514 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 3,084 MPa | 0,19 < 1,0 |
| | $M_{z,odp.}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,0MPa | VYHOVÍ |



Obr. 5.7 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y na krokvi v části C namáhané tlakem

- Kombinace tahu a ohybu**

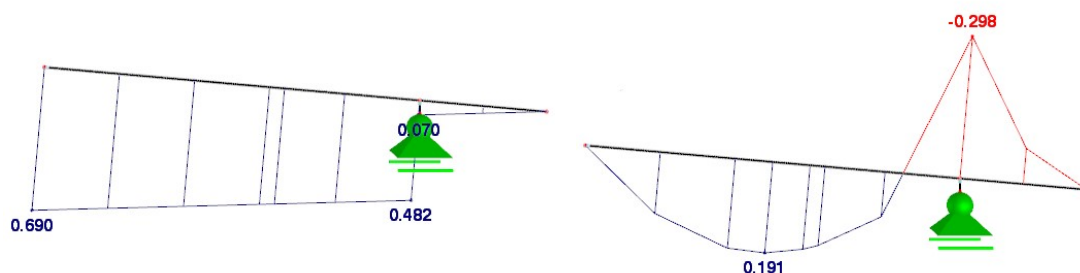
Musí být zároveň splněny podmínky:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

Pevnost dřeva v tahu $f_{t,0,d}$ 9,69 MPa

Tab. 5.6 Posouzení oslabené krokve v části C na kombinaci tahu a ohybu

| | | | | | |
|----------------------|--------------|-------------------|------------------|-----------|----------------------|
| $N_{t,max}$ (KV6) | $N_{t,max}$ | 0,482 kN | $\sigma_{t,0,d}$ | 0,048 MPa | Podmínka |
| | $M_{y,odp.}$ | -0,210 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 1,26 MPa | 0,08 < 1,0 |
| | $M_{z,odp.}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,0 MPa | VYHOVÍ |
| $M_{y,max}$ (KV4) | $N_{t,odp.}$ | 0,117 kN | $\sigma_{t,0,d}$ | 0,012 MPa | Podmínka |
| | $M_{y,max}$ | -0,298 kNm | $\sigma_{m,y,d}$ | 1,788 MPa | 0,12 < 1,0 |
| | $M_{z,odp.}$ | 0,0 kNm | $\sigma_{m,z,d}$ | 0,0 MPa | VYHOVÍ |



Obr. 5.8 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y na krokvi v části C namáhané tahem

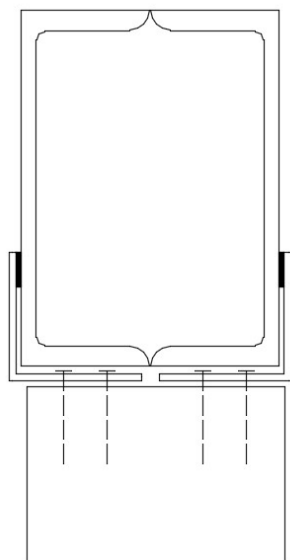
Tab. 5.7 Porovnání neoslabených a oslabených průřezů

| Krokev | Využití při neoslabeném průřezu | Druh namáhání | Využití při oslabeném průřezu | Druh namáhání |
|--------|---------------------------------------|------------------|----------------------------------|------------------|
| Část A | 48 % | Tah + ohyb | 30 % | Tah + ohyb |
| Část B | 42 % | Tah + ohyb | 23 % | Tah + ohyb |
| Část C | 20 % | Tah + ohyb | 19 % | Tlak + ohyb |

5.2 Způsob napojení ocelové vaznice a dřevěných prvků

SLOUPEK – VAZNICE

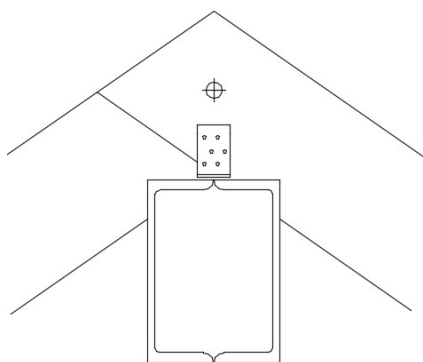
Spojení pomocí dvou protilehlých ocelových úhelníků 80x80x80 navrtaných ke dřevěnému sloupku. Připojení ocelové vaznice pomocí svaru.



Obr. 5.9 Schéma napojení ocelové vaznice na dřevěný sloupek

VAZNICE – KROKEV

Krokve jsou navzájem spojeny přeplátováním. Spoj je zajištěn svorníkem. Připojení krokví k vaznici je provedeno pomocí dvou úhelníků 60x60x40.

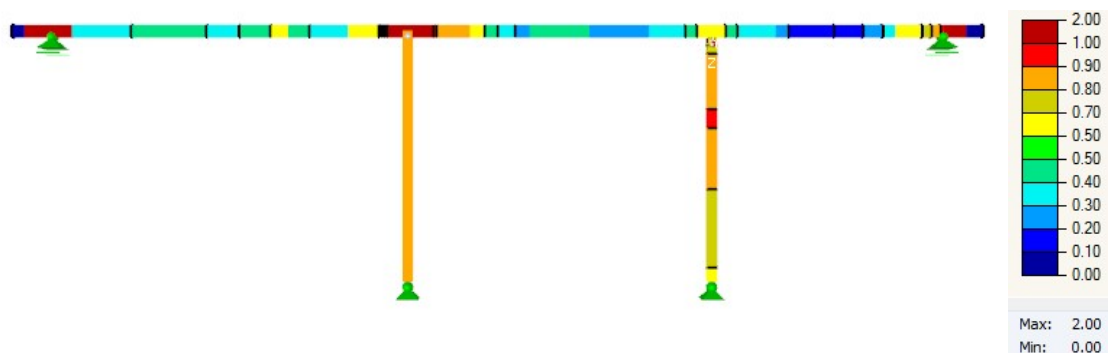


Obr. 5.10 Schéma napojení krokví na ocelovou vaznici

Přípoje mezi dřevěnými prvky jsou řešeny klasickými tesařskými spoji.

5.3 Ověření nutnosti použití ocelové vaznice

Návrh ocelové vaznice vycházel z předpokladu, že vaznice dřevěná by nebyla schopná přenést zatížení, vznikající na základě velkých rozpětí sloupků (5,97 m). Předpoklad ověřím vytvořením modelu, ve kterém na místo vaznice ocelové umístím vaznici dřevěnou o stejných rozměrech jako je dřevěná vaznice v části B (120/200).



Obr. 5.11 Využití vaznice a sloupků při nahrazení ocelové vaznice dřevěnou

Na obrázku 5.11 můžeme vidět, že dřevěná vaznice (120/200) by byla v místě nadpodporových momentů využita až na 200 %. Využití sloupku zde naopak zmenšením váhy vaznice kleslo z 96 % na 89 %. Optimalizací průřezu v RF-TIMBER Pro jsem stanovila nejmenší možný profil dřevěné krokve, která by zatížení přenesla, na 150/260 a to s využitím 95 %.

6. ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývala statickou analýzou dřevěného krovu s ocelovou vaznicí. Zatížení krovu jsem stanovila na základě ČSN EN 1991-1 s klimatickými podmínkami pro město Prostějov. Z důvodu krokví vystupujících před štítovou stěnu jsem dále uvažovala s vodorovným působením větru na konstrukci, tzn. působením spojitého zatížení na samotné krokve a dále pak přenos vodorovných sil ze štítových stěn do jimi podpíraných vaznic. Na základě těchto zatížení byl krov dodatečně zavětrován.

Posouzení na mezní stav únosnosti jsem prováděla ručně a jeho výsledky ověřovala s posudkem provedeným v přídatném modulu RF-TIMBER Pro. Rozdíly výsledků byly minimální, a když tak byly způsobeny výběrem vnitřních sil pro provedení posudku. Já jsem pro ruční výpočet volila vždy nejhorší s jím odpovídající vnitřní síly. Program je však schopen vyhodnotit všechny kombinace sil na každém průřezu prvku a z nich vybrat tu nejhorší, ve které se nutně nemusí vyskytovat ani jedna z extrémních vnitřních sil. Většina prvků byla namáhána kombinací tlaku a dvouosého ohybu, případně tahu a dvouosého ohybu. Všechny posuzované prvky splnily kritérium únosnosti, a to s maximálním využitím 96 %.

Mezní stav použitelnosti jsem pro dřevěné prvky posuzovala ve dvou fázích. V té první jsem posoudila okamžitý průhyb na charakteristickou kombinaci zatížení (tedy bez součinitelů) a v té druhé dotvarování na kombinaci kvazistálou. Dotvarování uvažuje s vzrůstem průhybu dřevěných prvků v průběhu času. U ocelových prvků k dotvarování nedochází a posudek jsem proto provedla pouze jeden a to na kombinaci charakteristickou. Žádný z prvků krovu nepřekračuje stanovené limitní hodnoty průhybu.

Spoj krokví s pozednicí je uvažován jako osedlání (zářez do 1/3 výšky prvku) a z toho důvodu jsem musela zvážit, jaký vliv bude mít toto oslabení na únosnost krokve. Oslabený průřez jsem posoudila na vnitřní síly vznikající nad pozednicí, nicméně výpočet prokázal, že se zde nejedná o kritické místo na krokvi, jelikož prvek je více využit v jiných místech a to na průřezu neoslabeném. Dále jsem v rámci práce definovala napojení ocelové vaznice na dřevěné prvky krovu. Analýza únosnosti konkrétních spojů nebyla provedena z důvodu rozsahu práce.

V poslední části práce jsem se rozhodla ověřit předpoklad, že pro dané rozpětí sloupků je potřeba použít ocelovou vaznici. Vyhodnocení je takové, že při dodržení tohoto rozpětí by nejmenší možná dřevěná vaznice musela mít profil 150/260 a použití ocelové vaznice zde tedy nebylo zbytečné.

7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN EN 1990; Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha, Český normalizační institut, 2015
- [2] ČSN EN 1991-1-1; Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha, Český normalizační institut, 2010
- [3] ČSN EN 1991-1-3; Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Praha, Český normalizační institut, 2013
- [4] ČSN EN 1991-1-4; Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Praha, Český normalizační institut, 2013
- [5] ČSN EN 1993-1-1; Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha, Český normalizační institut, 2011
- [6] ČSN EN 1995-1-1; Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha, Český normalizační institut, 2006
- [7] ČSN 73 1702; Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha, Český normalizační institut, 2007
- [8] KUKLÍK, Petr, Příručka 2 - Navrhování dřevěných konstrukcí podle Eurokódu 5. Leonardo da Vinci pilot project, 2008
- [9] www.dek.cz
- [10] www.tondach.cz

8. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | |
|-------------------|---|
| α | Sklon střechy |
| γ_G | Dílčí součinitel stálého zatížení |
| γ_Q | Dílčí součinitel proměnného zatížení |
| γ_M | Dílčí součinitel vlastnosti materiálu |
| γ_P | Dílčí součinitel předpětí |
| μ_i | Tvarový součinitel zatížení sněhem |
| $\lambda_{rel,y}$ | Poměrný štíhlostní poměr k ose y |
| $\lambda_{rel,z}$ | Poměrný štíhlostní poměr k ose z |
| λ_y | Štíhlostní poměr k ose y |
| λ_z | Štíhlostní poměr k ose z |
| ν | Poissonův součinitel |
| ξ | Redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení |
| ρ | Měrná hmotnost vzduchu |
| $\sigma_{c,0,d}$ | Návrhové napětí v tlaku ve směru rovnoběžně s vlákny |
| $\sigma_{m,y,d}$ | Návrhové napětí v ohybu k ose y |
| $\sigma_{m,z,d}$ | Návrhové napětí v ohybu k ose z |
| $\sigma_{t,0,d}$ | Návrhové napětí v tahu ve směru rovnoběžně s vlákny |
| $\tau_{tor,d}$ | Návrhové napětí ve smyku od kroucení |
| ρ_k | Objemová hmotnost dřeva |
| ψ_0 | Kombinační součinitel |
| ψ_2 | Kombinační součinitel |
| | |
| b | Šířka prvku |
| $f_{c,0,k}$ | Charakteristická pevnost dřeva v tlaku ve směru rovnoběžně s vlákny |
| $f_{c,0,d}$ | Návrhová pevnost dřeva v tlaku ve směru rovnoběžně s vlákny |
| $f_{m,k}$ | Charakteristická pevnost dřeva v ohybu |
| $f_{m,d}$ | Návrhová pevnost dřeva v ohybu |
| $f_{t,0,k}$ | Charakteristická pevnost dřeva v tahu ve směru rovnoběžně s vlákny |
| $f_{t,0,d}$ | Návrhová pevnost dřeva v tahu ve směru rovnoběžně s vlákny |
| f_u | Charakteristická mez pevnosti oceli |

| | |
|--------------|---|
| $f_{u,d}$ | Návrhová mez pevnosti oceli |
| $f_{v,k}$ | Charakteristická pevnost dřeva ve smyku |
| $f_{v,d}$ | Návrhová pevnost dřeva ve smyku |
| f_y | Charakteristická mez kluzu oceli |
| $f_{y,d}$ | Návrhová mez kluzu oceli |
| h | Výška prvku |
| $c_0(z)$ | Součinitel ortografie |
| c_{dir} | Součinitel směru větru |
| c_{pe} | Součinitel vnějšího tlaku |
| $c_r(z)$ | Součinitel drsnosti terénu |
| c_{season} | Součinitel ročního období |
| q_k | Užitní zatížení plošné |
| $q_p(z)$ | maximální dynamický tlak |
| i_y | Poloměr setrvačnosti k ose y |
| i_z | Poloměr setrvačnosti k ose z |
| k_1 | Součinitel turbulence |
| $k_{c,y}$ | Součinitel vzpěrnosti k ose y |
| $k_{c,z}$ | Součinitel vzpěrnosti k ose z |
| k_{def} | Součinitel dotvarování |
| k_m | Součinitel uvažující redistribuci napětí a vliv nehomogenit materiálu v průřezu |
| k_{mod} | Modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti |
| k_r | Součinitel terénu |
| k_{shape} | Součinitel závislý na tvaru průřezu |
| k_y | Součinitel vzpěrnosti k ose y |
| k_z | Součinitel vzpěrnosti k ose z |
| $I_v(z)$ | Intenzita turbulence |
| s_k | Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi |
| v_b | Základní rychlost větru |
| $v_{b,0}$ | Výchozí základní rychlost větru |
| $v_m(z)$ | Charakteristická střední rychlost větru |
| w_e | Tlak větru |
| w_{fin} | Konečný průhyb |

| | |
|--------------|---|
| w_{inst} | Okamžitý průhyb |
| z | Výška budovy |
| z_0 | Parametr drsnosti terénu |
| $z_{0,II}$ | Parametr drsnosti terénu (kategorie terénu II) |
| z_{min} | Minimální výška |
| A | Plocha průřezu |
| C_e | Součinitel expozice |
| C_t | Tepelný součinitel |
| E | Modul pružnosti v tahu a tlaku |
| $E_{0,05}$ | 5% - kvantil modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny |
| $E_{0,mean}$ | Průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny |
| G | Modul pružnosti ve smyku |
| G_k | Charakteristická hodnota stálého zatížení |
| G_{mean} | Modul pružnosti dřeva ve smyku |
| I_y | Moment setrvačnosti k ose y |
| I_z | Moment setrvačnosti k ose z |
| L | Délka prvku |
| $L_{cr,y}$ | Vzpěrná délka k ose y |
| $L_{cr,z}$ | Vzpěrná délka k ose z |
| M_T | Krouticí moment |
| $M_{y,d}$ | Ohybový moment k ose y |
| $M_{z,d}$ | Ohybový moment k ose z |
| $N_{c,d}$ | Návrhová tlaková normálová síla |
| $N_{t,d}$ | Návrhová tahová normálová síla |
| P | Zatížení předpětím |
| $Q_{k,1}$ | Charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení |
| $Q_{k,i}$ | Charakteristická hodnota dalších proměnných zatížení |
| W_T | Krouticí průřezový modul |
| W_y | Průřezový modul k ose y |
| W_z | Průřezový modul k ose z |

9. SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obr. 2.1 Půdorysné schéma konstrukce..... | 11 |
| Obr. 2.2 Půdorysný průmět modelu..... | 12 |
| Obr. 2.3 Schéma rozdělení objektu do částí | 12 |
| Obr. 2.4 Boční pohled na konstrukci | 13 |
| Obr. 2.5 Model konstrukce | 13 |
| Obr. 2.6 Statické schéma částí A a B..... | 14 |
| Obr. 2.7 Statické schéma části C | 14 |
| Obr. 2.8 Schéma skladby střešního pláště pro sklon 35° | 16 |
| Obr. 2.9 Zatížení od střešního pláště na částech A a B | 17 |
| Obr. 2.10 Schéma skladby střešního pláště pro sklon 5° | 18 |
| Obr. 2.11 Zatížení od střešního pláště na části C (prostřední krokve)..... | 19 |
| Obr. 2.12 a)Užitné zatížení spojitě b)Užitné zatížení osamělými silami..... | 20 |
| Obr. 2.13 zatížení plným sněhem na částech A a B..... | 21 |
| Obr. 2.14 zatížení plným sněhem na části C (prostřední krokve)..... | 22 |
| Obr. 2.15 Tvarové součinitele zatížení sněhem..... | 22 |
| Obr. 2.16 Vítr příčný zleva | 25 |
| Obr. 2.17 Vítr příčný zprava..... | 26 |
| Obr. 2.18 Vítr podélný zleva | 26 |
| Obr. 2.19 Vítr podélný zprava | 26 |
| Obr. 2.20 Zatížení větrem (příčný zleva) na části A pro variantu sání a sání s tlakem .. | 28 |
| Obr. 2.21 Zatížení větrem (podélný vítr zleva) na části A | 28 |
| Obr. 2.22 Zatížení větrem (příčný vítr zprava) na části C | 29 |
| Obr. 2.23 Zatížení větrem (podélný vítr zprava) na části C | 30 |
| Obr. 2.24 Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku | 30 |
| Obr. 2.25 Plocha zatížení přenášeného do vaznice na částech A a B..... | 31 |
| Obr. 2.26 Druhá varianta zavětrování..... | 32 |
| Obr. 2.27 První varianta zavětrování | 32 |
| Obr. 2.28 Vodorovný průhyb krokve u druhé varianty zavětrování..... | 33 |
| Obr. 2.29 Vodorovný průhyb krokve u první varianty zavětrování | 33 |
| Obr. 3.1 Geometrie úžlabní krokve | 40 |
| Obr. 3.2 Průběh extrémních záporných normálových sil a kladných ohybových momentů kolem osy y na úžlabní krokvi..... | 42 |
| Obr. 3.3 Průběh ohybových momentů kolem osy z na úžlabní krokvi..... | 42 |
| Obr. 3.4 Průběh extrémních kladných normálových sil a záporných ohybových momentů okolo osy y na úžlabní krokvi..... | 43 |
| Obr. 3.5 Průběh extrémních kladných ohybových momentů okolo osy z na úžlabní krokvi..... | 44 |
| Obr. 3.6 Geometrie krokve v části A | 44 |
| Obr. 3.7 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y na krokvi v části A namáhané tlakem..... | 45 |

| | |
|--|----|
| Obr. 3.8 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y a z na krokvi v části A namáhané tahem..... | 47 |
| Obr. 3.9 Geometrie spodních kleštín v části A | 47 |
| Obr. 3.10 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y a z na spodní kleštině v části A | 49 |
| Obr. 3.11 Geometrie sloupku v části A | 49 |
| Obr. 3.12 Průběh extrémních normálových sil na sloupku v části A | 50 |
| Obr. 3.13 Geometrie krokve v části B | 51 |
| Obr. 3.14 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y a z na krokvi v části B | 52 |
| Obr. 3.15 Geometrie spodních kleštín v části B | 53 |
| Obr. 3.16 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y a z na spodní kleštině v části B | 54 |
| Obr. 3.17 Geometrie sloupku v části B..... | 55 |
| Obr. 3.18 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y a z na sloupku v části B..... | 56 |
| Obr. 3.19 Geometrie pásků | 57 |
| Obr. 3.20 Průběh extrémních normálových sil na pásku..... | 58 |
| Obr. 3.21 Průběh extrémních krouticích momentů na pásku | 58 |
| Obr. 3.22 Geometrie krokve v části C | 59 |
| Obr. 3.23 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy z na krokvi v části C namáhané tlakem..... | 60 |
| Obr. 3.24 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y a z na krokvi v části C namáhané tahem | 61 |
| Obr. 3.25 Geometrie výměny | 62 |
| Obr. 3.26 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y na výměně..... | 63 |
| Obr. 3.27 Průběh extrémních ohybových momentů okolo osy z na výměně | 63 |
| Obr. 3.28 Geometrie dřevěné vaznice | 63 |
| Obr. 3.29 Průběh extrémních normálových sil na dřevěné vaznici | 64 |
| Obr. 3.30 Průběh extrémních ohybových momentů okolo osy y | 65 |
| Obr. 3.31 Průběh extrémních ohybových momentů okolo osy z..... | 65 |
| Obr. 3.32 Využití všech nosných prvků konstrukce..... | 65 |
| Obr. 3.33 Průřez ocelové vaznice | 66 |
| Obr. 4.1 Lokální deformace uz úžlabní krokve v charakteristické a kvazistálé kombinaci | 70 |
| Obr. 4.2 Lokální deformace uz krokve A v charakteristické a kvazistálé kombinaci | 71 |
| Obr. 4.3 Lokální deformace uz kleštiny A v charakteristické a kvazistálé kombinaci... | 72 |
| Obr. 4.4 Lokální deformace uz sloupku A v charakteristické a kvazistálé kombinaci .. | 73 |
| Obr. 4.5 Lokální deformace uz krokve B v charakteristické a kvazistálé kombinaci | 74 |
| Obr. 4.6 Lokální deformace uz kleštiny B v charakteristické a kvazistálé kombinaci... | 75 |
| Obr. 4.7 Lokální průhyb uz sloupku v části B v charakteristické a kvazistálé kombinaci | 75 |

| | |
|---|----|
| Obr. 4.8 Lokální deformace uz pásků v charakteristické a kvazistálé kombinaci..... | 76 |
| Obr. 4.9 Lokální deformace uz krokve v části C pro charakteristickou a kvazistálou kombinaci..... | 77 |
| Obr. 4.10 Lokální deformace uz výměny v charakteristické a kvazistálé kombinaci | 78 |
| Obr. 4.11 Geometrie dřevěné vaznice | 79 |
| Obr. 4.12 Lokální deformace uz dřevěné vaznice v charakteristické kombinaci | 80 |
| Obr. 4.13 Lokální deformace uz dřevěné vaznice v kvazistálé kombinaci | 80 |
| Obr. 4.14 Geometrie ocelové vaznice..... | 80 |
| Obr. 4.15 Lokální průhyb uz ocelové vaznice v charakteristické kombinaci..... | 81 |
| Obr. 5.1 Detail osedlání krokve v části A | 82 |
| Obr. 5.2 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y na krokvi v části A namáhané tlakem..... | 83 |
| Obr. 5.3 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y na krokvi v části A namáhané tahem..... | 84 |
| Obr. 5.4 Detail osedlání krokve v části B | 85 |
| Obr. 5.5 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y na krokvi v části B namáhané tlakem..... | 86 |
| Obr. 5.6 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y na krokvi v části B namáhané tahem..... | 86 |
| Obr. 5.7 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y na krokvi v části C namáhané tlakem..... | 88 |
| Obr. 5.8 Průběh extrémních normálových sil a ohybových momentů okolo osy y na krokvi v části C namáhané tahem..... | 88 |
| Obr. 5.9 Schéma napojení ocelové vaznice na dřevěný sloupek | 90 |
| Obr. 5.10 Schéma napojení krokvi na ocelovou vaznici | 90 |
| Obr. 5.11 Využití vaznice a sloupků při nahrazení ocelové vaznice dřevěnou | 91 |

10. SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tab. 2.1 Srovnání účinků dvou typů užitého zatížení na konstrukci | 20 |
| Tab. 2.2 Součinitel vnějšího tlaku pro $\theta = 0^\circ$ | 27 |
| Tab. 2.3 Součinitel vnějšího tlaku pro $\theta = 90^\circ$ | 28 |
| Tab. 2.4 Součinitel vnějšího tlaku pro $\theta = 0^\circ$ | 29 |
| Tab. 2.5 Součinitel vnějšího tlaku pro $\theta = 90^\circ$ | 29 |
| Tab. 2.6 Hodnoty použitých kombinačních součinitelů | 34 |
| Tab. 3.1 Materiálové charakteristiky pro jehličnaté dřevo C24..... | 35 |
| Tab. 3.2 Materiálové charakteristiky pro ocel S235 | 36 |
| Tab. 3.3 Průřezové charakteristiky profilů dřevěných prvků | 37 |
| Tab. 3.4 materiálové charakteristiky ocelové vaznice | 37 |
| Tab. 3.5 Posouzení úžlabní krokve na kombinaci tlaku a ohybu | 42 |
| Tab. 3.6 Posouzení úžlabní krokve na kombinaci tahu a ohybu..... | 43 |
| Tab. 3.7 Výpočet součinitele vzpěrnosti krokve v části A | 45 |
| Tab. 3.8 Posouzení krokve v části A na kombinaci tlaku a ohybu | 45 |
| Tab. 3.9 Posouzení krokve v části A na kombinaci tahu a ohybu | 46 |
| Tab. 3.10 Výpočet součinitele vzpěrnosti pro spodní kleštiny v části A..... | 48 |
| Tab. 3.11 Posouzení spodních klestín v části A na kombinaci tlaku a ohybu..... | 48 |
| Tab. 3.12 Výpočet součinitele vzpěrnosti u sloupku v části A..... | 50 |
| Tab. 3.13 Posouzení sloupku v části A na tlak | 50 |
| Tab. 3.14 Posouzení krokve v části B na kombinaci tahu a ohybu | 52 |
| Tab. 3.15 Výpočet součinitele vzpěrnosti u klestín v části B | 53 |
| Tab. 3.16 Posouzení klestín v části B na kombinaci tlaku a ohybu..... | 54 |
| Tab. 3.17 Výpočet součinitele vzpěrnosti pro sloupek v části B | 55 |
| Tab. 3.18 Posouzení sloupku v části B na kombinaci tlaku a ohybu..... | 56 |
| Tab. 3.19 Výpočet součinitele vzpěrnosti pro pásy | 57 |
| Tab. 3.20 posouzení pásků na tlak | 58 |
| Tab. 3.21 Posouzení pásků na kroucení..... | 58 |
| Tab. 3.22 Výpočet součinitele vzpěrnosti u krokve v části C..... | 59 |
| Tab. 3.23 Posouzení krokve v části A na kombinaci tlaku a ohybu | 60 |
| Tab. 3.24 Posouzení krokve v části C na kombinaci tahu a ohybu | 61 |
| Tab. 3.25 Výpočet součinitele vzpěrnosti u výměny | 62 |
| Tab. 3.26 Posouzení výměny na kombinaci tlaku a ohybu | 62 |
| Tab. 3.27 Posouzení dřevěné vaznice na kombinaci tlaku a ohybu | 64 |
| Tab. 3.28 Posouzení ocelové vaznice na kombinaci tlaku a ohybu..... | 66 |
| Tab. 5.1 Posouzení oslabené krokve v části A na kombinaci tlaku a ohybu | 83 |
| Tab. 5.2 Posouzení oslabené krokve v části A na kombinaci tahu a ohybu | 84 |
| Tab. 5.3 Posouzení oslabené krokve v části B na kombinaci tlaku a ohybu | 85 |
| Tab. 5.4 Posouzení oslabené krokve v části B na kombinaci tahu a ohybu | 86 |
| Tab. 5.5 Posouzení oslabené krokve v části B na kombinaci tlaku a ohybu | 87 |
| Tab. 5.6 Posouzení oslabené krokve v části C na kombinaci tahu a ohybu | 88 |
| Tab. 5.7 Porovnání neoslabených a oslabených průřezů | 89 |

11. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Rozklad zatížení

Příloha č. 2 – Posouzení MSÚ v RF-TIMBER Pro a RF-STEEL

Příloha č. 3 – Posouzení MSP krokve v části C v RF-TIMBER Pro